

**IDENTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE
ESCUELAS DE MEDELLÍN**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magíster
en Ingeniería

Por

FAVER NORBEY ZORA MEJÍA

Asesor

ANA BEATRIZ ACEVEDO JARAMILLO

Universidad EAFIT

MEDELLÍN

UNIVERSIDAD EAFIT

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL

Diciembre de 2013

RESUMEN

En esta investigación se aplicó el método del índice prioritario propuesto inicialmente por Hassan y Sözen (1997) para realizar un análisis del nivel de vulnerabilidad sísmica de un inventario de escuelas en las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta. El procedimiento del índice prioritario permite de una forma sencilla identificar las estructuras que requieren de una evaluación de vulnerabilidad detallada. Las estructuras seleccionadas fueron instituciones educativas, ya que son edificaciones indispensables donde una gran cantidad de menores pasan gran parte de su tiempo en su interior. Estas instituciones se encuentran ubicadas en zonas de amenaza sísmica media a alta de acuerdo al código sismo resistente del país. Las estructuras evaluadas en esta investigación tienen diferentes niveles de vulnerabilidad debido al uso o no de las normas sismo resistentes y a las buenas o malas prácticas de construcción. En este estudio se evaluaron 30 instituciones educativas para un total de 82 estructuras analizadas ya que algunas escuelas tenían más de una edificación.

El índice prioritario corresponde a la suma del índice de columna e índice de muro, los cuales son calculados en términos de las áreas transversales de los elementos estructurales (muros y columnas) con respecto al área de piso total del edificio. La aplicación del método de Hassan y Sözen (1997) identificó el 61% de las estructuras evaluadas como vulnerables. Debido a que el método del índice prioritario no identifica si existen o no columnas cortas en una edificación ni los niveles de detallamiento del refuerzo, en este trabajo se planteó una clasificación más objetiva que tiene en cuenta la presencia de columnas cortas, el año de construcción y el índice prioritario. Esta clasificación finalmente identificó un 60% de las edificaciones como vulnerables, siendo un porcentaje alto que significa que una gran cantidad de niños se encuentran en riesgo ante la ocurrencia de un evento sísmico futuro. Debido a que los niveles de aceleración registrados en los lugares donde se ha calibrado el método del índice prioritario son consistentes con los niveles esperados en las ciudades evaluadas, los resultados de este estudio corresponden a sismos probables en Medellín, Itagüí y Sabaneta.

Palabras clave: Riesgo sísmico, vulnerabilidad sísmica, concreto reforzado, escuelas.

AGRADECIMIENTOS

En primero lugar quiero agradecerle a Dios todo poderoso, por permitirme culminar esta investigación, por darme la fuerza y el coraje para hacer que este sueño fuera posible, por dejar que me llenara de nuevas experiencias y que en el transcurso de este proyecto consiguiera aplicar mis conocimientos. Por darme la sabiduría de saber esperar y ser conciente que me muevo en su voluntad.

Quiero agradecer a todas las personas que aportaron su colaboración para la elaboración de este trabajo de investigación, por confiar en mis capacidades y por permitirme realizar este proyecto que ha sido una gran experiencia y ha aportado en gran medida a mi vida académica y profesional.

Agradezco al departamento de investigación de la Universidad EAFIT por el financiamiento de todo el proyecto de investigación.

Agradezco a la profesora Ana Beatriz Acevedo Jaramillo de la Universidad EAFIT y al profesor Santiago Pujol Llano de la Universidad de Purdue, los cuales han servido de gran apoyo durante el desarrollo de todo el trabajo de investigación. Sus recomendaciones y aportes han enriquecido el proyecto de grado.

Agradezco al profesor Juan Diego Jaramillo Fernández por sus valiosos comentarios acerca del proyecto de investigación.

A Luz Jeannette Mejía del Área Metropolitana del Valle de Aburrá y a Jaime Enrique Gómez de la Alcaldía de Medellín, por su apoyo y suministro de información para la clasificación de las instituciones educativas a visitar y por su respaldo durante todas las visitas.

Agradezco a todos los rectores y coordinadores de las 33 instituciones visitadas por la buena atención y por facilitar el acceso a sus instalaciones.

A los auxiliares de investigación Juan Esteban Posada y Laura Angélica Sierra por su gran esfuerzo, dedicación y apoyo en cada una de las visitas realizadas.

A los ingenieros Luis Guillermo Aycardi, Ricardo Bonnet y María Luisa Bermúdez por compartir información importante para la ejecución del proyecto.

A la secretaria del departamento de ingeniería Alicia López Novoa por su entera disposición y ayuda en la logística y manejo administrativo de todos los requerimientos físicos para la ejecución del proyecto de maestría.

Agradezco a mi familia por brindarme todo su apoyo y darme aliento cada día.

A mi hermana Paula Zora y mis amigos María José Lambraño, Alejandra Mejía, Andrea Rojo y Mauricio Serna por toda la colaboración en la revisión de la redacción del texto.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	iii
AGRADECIMIENTOS	v
TABLA DE CONTENIDO.....	vii
LISTA DE FIGURAS	xiii
LISTA DE TABLAS.....	xix
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 ANTECEDENTES	3
1.1.1 Sismicidad en la ciudad de Medellín.....	3
1.1.2 Surgimiento de las normas sismo resistentes en Colombia	4
1.1.3 Conformación de barrios y asentamientos informales en Medellín	5
1.2 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	8
1.3 OBJETIVO GENERAL.....	12
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
1.5 ESQUEMA GENERAL DE LA TESIS	12
2. INFLUENCIA DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LA REDUCCIÓN DEL RIESGO SÍSMICO	13
2.1 SISMICIDAD HISTÓRICA DE MEDELLÍN.....	13
2.2 RIESGO SÍSMICO	19
2.3 METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA	21
2.3.1 Métodos empíricos	22
2.3.2 Métodos analíticos.....	26
2.4 TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIONES EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN.....	30
3. MÉTODO DEL ÍNDICE PRIORITARIO (HASSAN Y SÖZEN, 1997).....	35
3.1 EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE PRIORITARIO	36
3.2 CALIBRACIÓN Y CONFIABILIDAD DEL MÉTODO.....	39
3.2.1 Evaluación del método del índice prioritario después de los sismos de Turquía en 1999.....	40
3.2.2 Evaluación del método del índice prioritario después del sismo de Haití en el 2010	41

3.2.3 Conclusiones generales de los estudios realizados en Bingöl y Wenchuan .	48
4. TRABAJO DE CAMPO.....	51
4.1 INSTITUCIONES EDUCATIVAS SELECCIONADAS.....	52
5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN CAMPO.....	55
5.1 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO.....	55
6. IDENTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	63
6.1 ÍNDICE PRIORITARIO Y AMENAZA SÍSMICA DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN.....	64
6.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE PRIORITARIO.....	68
6.2.1 Criterio 1.....	68
6.2.2 Criterio 2.....	68
6.2.3 Criterio 3.....	69
6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS.....	72
6.3.1 Análisis de resultados.....	74
6.4 POSIBLES PÉRDIDAS ANTE SISMOS FUTUROS.....	78
6.4.1 Prácticas de Construcción en Turquía.....	78
6.4.2 Prácticas de Construcción en Haití.....	79
6.4.3 Construcción en Medellín – Colombia y su relación con las practicas constructivas en Turquía y Haití.....	81
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
8. REFERENCIAS.....	91
ANEXOS.....	99
A. ANEXO A - FORMATO TRABAJO DE CAMPO.....	99
A.1 FORMATO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN HOJA 1.....	99
A.2 FORMATO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN HOJA 2.....	100
B. ANEXO B - GUÍA PARA EL MANEJO DEL FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO.....	101
B.1 VISTA EN PLANTA.....	101
B.2 EDIFICACIÓN.....	102
B.3 DIRECCIÓN Y AÑO DE CONSTRUCCIÓN.....	102
B.4 NÚMERO DE PISOS SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO.....	102
B.5 TIPO DE CUBIERTA (MATERIAL).....	102
B.6 COLUMNAS CORTAS.....	104
B.7 FOTOS.....	104
B.8 ESTADO DE LA ESTRUCTURA.....	105
B.8.1 Calidad de los materiales.....	105

B.8.2	Calidad de la construcción	109
B.8.3	Estado de la Cubierta	113
B.8.4	Instalación de Redes	115
B.8.5	Asentamiento estructural	117
B.8.6	Humedades	118
B.8.7	Presencia de fisuras y/o agrietamientos.....	118
B.8.8	Inclinación elementos estructurales	118
C.	ANEXO C – INFORMACIÓN RECOLECTADA EN CAMPO	119
D.	ANEXO D – INFORME RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE PRIORITARIO PARA CADA ESTRUCTURA.....	121
D.1	INSTITUCIÓN EDUCATIVA LA SALLE DE CAMPO AMOR.....	121
D.1.1	Bloque aporticado.....	121
D.2	INSTITUCIÓN EDUCATIVA OCTAVIO HARRY.....	123
D.2.1	Bloque 1 – Aula de preescolar	123
D.2.2	Bloque 2 – Sala de profesores.....	124
D.3	INSTITUCIÓN EDUCATIVA TULIO OSPINA	125
D.3.1	Bloque aporticado.....	125
D.4	INSTITUCIÓN EDUCATIVA LUCRECIO JARAMILLO VÉLEZ.....	126
D.4.1	Bloque principal	126
D.5	INSTITUCIÓN EDUCATIVA CONCEJO DE MEDELLÍN	128
D.5.1	Bloque administrativo	128
D.5.2	Bloque 1 Aulas de clase – nivel 1 capilla	129
D.5.3	Bloque 2 Cocina y comedor – Aulas de clase	130
D.5.4	Bloque 3 Auditorio – cafetería.....	131
D.5.5	Bloque 4 Zona común – área principal de escaleras.....	132
D.5.6	Bloque 5 Edificio acceso principal de la institución educativa	133
D.5.7	Bloque 6 Edificio acceso principal continuo al bloque 5	134
D.6	INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO – SEDE BELÉN	135
D.6.1	Bloque 1 Aulas – sistemas.....	135
D.6.2	Bloque 2 Laboratorio de química	136
D.7	INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO – SEDE ROBLEDO	137
D.7.1	Bloque 3C.....	137
D.7.2	Bloque 2	138
D.7.3	Bloque 5	139

D.8 INSTITUCIÓN EDUCATIVA CRISTÓBAL COLÓN.....	140
D.8.1 Bloque aporticado	140
D.9 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ALCALDÍA DE MEDELLÍN	141
D.9.1 Bloque administrativo	141
D.9.2 Bloque 1 Fachada principal de la institución - Aulas.....	142
D.9.3 Bloque de escaleras entre bloques 1 y 2.....	143
D.9.4 Bloque 2 continuo al bloque de escaleras	144
D.9.5 Bloque biblioteca	145
D.9.6 Bloque portería – entrada principal.....	146
D.10 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ALCALDÍA DE MEDELLÍN SEDE PRIMARIA	147
D.10.1 Bloque aporticado	147
D.10.2 Bloque baños	148
D.11 INSTITUCIÓN EDUCATIVA FRANCISCO ANTONIO ZEA.....	149
D.11.1 Bloque biblioteca – cafetería	149
D.11.2 Bloque central - sala de profesores	150
D.11.3 Bloque administrativo	151
D.12 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ANA DE CASTRILLÓN.....	152
D.12.1 Bloque biblioteca – sala de profesores	152
D.12.2 Bloque administrativo	153
D.13 INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARCO FIDEL SUAREZ.....	154
D.13.1 Bloque rectoría - secretaría	154
D.13.2 Bloque de Psicoorientación	155
D.13.3 Bloque laboratorio de física	156
D.13.4 Bloque biblioteca – administrativo	157
D.13.5 Bloque aulas continuo al bloque de la biblioteca	158
D.13.6 Bloque típico de aulas	159
D.13.7 Bloque restaurante y baños.....	160
D.13.8 Bloque capilla y preescolar.....	161
D.13.9 Bloque de música.....	162
D.14 INSTITUCIÓN EDUCATIVA LOLA GONZÁLEZ.....	163
D.14.1 Bloque principal – aulas – coordinación – sala de profesores.....	163
D.14.2 Bloque nuevo – cafetería.....	164
D.15 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SAMUEL BARRIENTOS RESTREPO SEDE PRINCIPAL	165
D.15.1 Bloque rectoría – coordinación – aulas – entrada principal.....	165

D.15.2 Bloque cafetería y aulas en niveles superiores	166
D.15.3 Bloque cocina y deportes.....	167
D.16 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SAMUEL BARRIENTOS RESTREPO SEDE MONSEÑOR....	168
D.16.1 Bloque entrada principal y área de escaleras	168
D.16.2 Bloque aulas – auditorio	169
D.17 INSTITUCIÓN EDUCATIVA LA PIEDAD.....	170
D.17.1 Bloque rectoría	170
D.17.2 Bloque preescolar.....	171
D.17.3 Bloque laboratorio de química	172
D.18 INSTITUCIÓN EDUCATIVA REPÚBLICA DE VENEZUELA	173
D.18.1 Bloque administrativo – aulas de clase	173
D.18.2 Bloque cocina y comedor.....	174
D.19 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SAN ROBERTO DE BELARMINO.....	175
D.19.1 Bloque aporticado.....	175
D.20 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SANTOS ÁNGELES CUSTODIOS.....	177
D.20.1 Bloque de aulas – edificio en C.....	177
D.20.2 Bloque cafetería	178
D.20.3 Bloque biblioteca - laboratorio.....	179
D.21 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SANTO ÁNGEL	180
D.21.1 Bloque entrada principal	180
D.21.2 Bloque administrativo y auditorio	181
D.21.3 Bloque sala de profesores y aulas	182
D.22 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ANTONIO RICAURTE	183
D.22.1 Bloque administrativo - aulas	183
D.23 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ISOLDA ECHAVARRÍA.....	184
D.23.1 Bloque biblioteca y auditorio	184
D.23.2 Bloque nuevo (en construcción).....	185
D.24 INSTITUCIÓN EDUCATIVA JUAN ECHEVERRI ABAD	186
D.24.1 Bloque administrativo - aulas	186
D.24.2 Bloque aulas de clase – cocina - comedor.....	187
D.25 INSTITUCIÓN EDUCATIVA JOHN F. KENNEDY	188
D.25.1 Bloque rectoría - biblioteca	188
D.25.2 Bloque cocina – restaurante – aulas de clase.....	189
D.25.3 Bloque cafetería – auditorio – aulas de clase.....	190

D.26 INSTITUCIÓN EDUCATIVA PEDRO ESTRADA.....	191
D.26.1 Bloque administrativo – entrada principal	191
D.26.2 Bloque aulas de clase – deportes - restaurante.....	192
D.27 INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIMITIVO LEAL LA DOCTORA	193
D.27.1 Bloque administrativo	193
D.27.2 Bloque aulas de clase	194
D.27.3 Bloque aulas – vivienda.....	195
D.27.4 Bloque nuevo	196
D.28 INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRESBITERO ANTONIO BAENA SALAZAR	197
D.28.1 Bloque Sistemas (Segundo nivel).....	197
D.28.2 Bloque cocina - restaurante.....	198
D.28.3 Bloque biblioteca - secretaría	199
D.29 INSTITUCIÓN EDUCATIVA RAFAEL J. MEJÍA	200
D.29.1 Bloque aulas – cocina comedor (nivel inferior)	200
D.29.2 Bloque biblioteca - rectoría	201
D.30 INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA	202
D.30.1 Bloque aulas de clase – biblioteca (segundo nivel)	202
D.30.2 Bloque baños y área de escaleras.....	203
D.30.3 Bloque rectoría – sistemas (segundo nivel)	204
D.30.4 Bloque cocina y comedor	205

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Mapa de Amenaza Sísmica de Colombia, <i>Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10</i> (AIS, 2010).....	2
Figura 1.2 Población según estrato socioeconómico de la vivienda. Datos obtenidos de la <i>Encuesta de Calidad de Vida – Medellín 2011</i> (Departamento Administrativo de Planeación – Alcaldía de Medellín, 2011)	6
Figura 1.3 Asentamientos informales en la ciudad de Medellín - Colombia. Fotos cortesía de Luis G. Aycardi	7
Figura 1.4 Asentamientos informales en la ciudad de Medellín - Colombia. Fotos cortesía de Luis G. Aycardi (continuación).....	8
Figura 1.5 Ruinas de la escuela de San Guiliano di Puglia (Italia) (http://elpais.com/diario/2002/11/02/internacional/)	10
Figura 1.6 Jardín de niños colapsado (Wenchuan) (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sichuanearthquake_Jiangyou_pic9.jpg).....	10
Figura 2.1 Sismicidad Histórica de Medellín	16
Figura 2.2 Sismicidad Superficial de Colombia (sismos desde 1904 hasta 2011)	17
Figura 2.3 Sismicidad Profunda de Colombia (sismos desde 1904 hasta 2011).....	18
Figura 2.4 Componentes de la evaluación del riesgo sísmico y opciones para los estudios de vulnerabilidad sísmica (Calvi <i>et al.</i> , 2006).....	23
Figura 2.5 Componentes básicos para derivar curvas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño de forma analítica (Calvi <i>et al.</i> , 2006).....	27
Figura 2.6 Distribución del sistema estructural en las zonas 1 y 2 del municipio de Medellín (adaptada de Consorcio Microzonificación 2006, 2007).....	31
Figura 2.7 Edificaciones típicas (Mejía <i>et al.</i> , 2002a y 2002b).....	33
Figura 3.1 Método de evaluación propuesto (Hassan y Sözen, 1997).....	39
Figura 3.2 Índice prioritario y número de pisos (Dönmez y Pujol, 2005)	42
Figura 3.3 Tendencias generales de estructuras dañadas severamente o colapsadas y el índice prioritario promedio (Dönmez y Pujol, 2005)	42
Figura 3.4 Porcentaje de edificios dañados severamente – Índice prioritario (O'Brien <i>et al.</i> , 2011).....	45
Figura 3.5 Frecuencia de daño de los edificios – Presencia de columnas cortas – Índice prioritario (O'Brien <i>et al.</i> , 2011).....	47
Figura 3.6 Índice prioritario y número de pisos Haití – Duzce (O'Brien <i>et al.</i> , 2011)	48

Figura 4.1 División por comunas de la ciudad de Medellín – Los puntos identifican las comunas y municipios visitados (adaptada de http://medellintespera.blogspot.com/p/mapa-de-medellin-con-barrios-y-comunas.html).....	51
Figura 5.1 Año de construcción de las estructuras.....	56
Figura 5.2 Número de pisos de las estructuras.....	56
Figura 5.3 Tipo de cubierta de las estructuras.....	57
Figura 5.4 Plantas típicas de piso de las instituciones educativas.....	58
Figura 5.5 Unidades de mampostería de las estructuras.....	59
Figura 5.6 Vista en planta bloque en C – irregularidad en planta (Santos Ángeles Custodios).....	59
Figura 5.7 Vista en planta – bloque laboratorio de química (La Piedad).....	60
Figura 5.8 Irregularidad en altura.....	60
Figura 6.1 Muro criterio 1.....	68
Figura 6.2 Muro criterio 2.....	69
Figura 6.3 Muro criterio 3.....	69
Figura 6.4 Índice prioritario - criterios índices de muro.....	73
Figura 6.5 Clasificación de Hassan y Sözen (1997) y clasificación propuesta en la Tabla 6.6.....	77
Figura 6.6 Edificio típico – pórticos con muros de mampostería simple (Gulkan <i>et al.</i> , 2002).....	79
Figura 6.7 Edificio planta típica – ejemplo de un edificio de cinco pisos (Gulkan <i>et al.</i> , 2002).....	79
Figura 6.8 Colapso de edificios en el centro de Port-au-Prince (Bhatty, 2010).....	80
Figura 6.9 Mala calidad de construcción en Haití (McWilliams y Griffin, 2013).....	81
Figura B.1 Vista en planta – esquema de edificación.....	101
Figura B.2 Niveles de piso por encima del nivel del terreno.....	102
Figura B.3 Tipos de Cubierta.....	103
Figura B.4 Columnas cortas (Sedra <i>et al.</i> , 2010).....	104
Figura B.5 Calidad buena de los materiales.....	106
Figura B.6 Calidad regular de materiales.....	107
Figura B.7 Calidad mala de materiales.....	108
Figura B.8 Eflorescencias en el concreto.....	109
Figura B.9 Calidad buena de construcción.....	110
Figura B.10 Calidad regular de construcción.....	111
Figura B.11 Calidad mala de construcción.....	112

Figura B.12 Corrosión del acero.....	112
Figura B.13 Estado bueno de la cubierta.....	113
Figura B.14 Estado regular de la cubierta	114
Figura B.15 Estado malo de la cubierta.....	115
Figura B.16 Calidad buena instalación de redes	116
Figura B.17 Calidad mala de instalación de redes.....	116
Figura B.18 Asentamiento diferencial de la fundación (http://jorgemartinezlarios.com/origen-de-fisuras-y-grietas-en-una-construccion-segunda-parte/#.UkoMEoZSjpU)	117
Figura D.1 Registro fotográfico – bloque aporticado – La Salle de Campo Amor	122
Figura D.2 Registro fotográfico – bloque 1 – Octavio Harry.....	123
Figura D.3 Registro fotográfico – bloque 2 – Octavio Harry.....	124
Figura D.4 Registro fotográfico – bloque aporticado – Tulio Ospina	125
Figura D.5 Registro fotográfico – estructura principal – Lucrecio Jaramillo Vélez.....	127
Figura D.6 Registro fotográfico – bloque administrativo – Concejo de Medellín	128
Figura D.7 Registro fotográfico – bloque 1 – Concejo de Medellín	129
Figura C 8 Registro fotográfico – bloque 2 – Concejo de Medellín	130
Figura D.9 Registro fotográfico – bloque 3 – Concejo de Medellín	131
Figura D.10 Registro fotográfico – bloque 4 – Concejo de Medellín	132
Figura D.11 Registro fotográfico – bloque 5 – Concejo de Medellín	133
Figura D.12 Registro fotográfico – bloque 6 – Concejo de Medellín	134
Figura D.13 Registro fotográfico – bloque 1 – IU Pascual Bravo Sede Belén.....	135
Figura D.14 Registro fotográfico – bloque 2 – IU Pascual Bravo Sede Belén.....	136
Figura D.15 Registro fotográfico – bloque 3C – IU Pascual Bravo Sede Robledo	137
Figura D.16 Registro fotográfico – bloque 2 – IU Pascual Bravo Sede Robledo.....	138
Figura D.17 Registro fotográfico – bloque 5 – IU Pascual Bravo Sede Robledo.....	139
Figura D.18 Registro fotográfico – bloque aporticado – Cristóbal Colón.....	140
Figura D.19 Registro fotográfico – bloque administrativo – Alcaldía de Medellín.....	141
Figura D.20 Registro fotográfico – bloque 1 – Alcaldía de Medellín.....	142
Figura D.21 Registro fotográfico – bloque escaleras – Alcaldía de Medellín	143
Figura D.22 Registro fotográfico – bloque 2 – Alcaldía de Medellín.....	144
Figura D.23 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Alcaldía de Medellín.....	145
Figura D.24 Registro fotográfico – bloque portería – Alcaldía de Medellín	146
Figura D.25 Registro fotográfico – bloque aporticado – Alcaldía de Medellín Primaria	147

Figura D.26 Registro fotográfico – bloque baños – Alcaldía de Medellín Primaria.....	148
Figura D.27 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Francisco Antonio Zea	149
Figura D.28 Registro fotográfico – bloque central – Francisco Antonio Zea	150
Figura D.29 Registro fotográfico – bloque administrativo – Francisco Antonio Zea	151
Figura D.30 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Ana de Castrillón	152
Figura D.31 Registro fotográfico – bloque administrativo – Ana de Castrillón	153
Figura D.32 Registro fotográfico – bloque rectoría – Marco Fidel Suarez.....	154
Figura D.33 Registro fotográfico – bloque psicoorientación – Marco Fidel Suarez	155
Figura D.34 Registro fotográfico – bloque laboratorio – Marco Fidel Suarez.....	156
Figura D.35 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Marco Fidel Suarez.....	157
Figura D.36 Registro fotográfico – bloque aulas – Marco Fidel Suarez	158
Figura D.37 Registro fotográfico – bloque típico – Marco Fidel Suarez	159
Figura D.38 Registro fotográfico – bloque restaurante – Marco Fidel Suarez.....	160
Figura D.39 Registro fotográfico – bloque capilla y preescolar – Marco Fidel Suarez .	161
Figura D.40 Registro fotográfico – bloque música – Marco Fidel Suarez	162
Figura D.41 Registro fotográfico – bloque principal – Lola González	163
Figura D.42 Registro fotográfico – bloque nuevo – Lola González.....	164
Figura D.43 Registro fotográfico – bloque rectoría – Samuel Barrientos Restrepo Sede Principal	165
Figura D.44 Registro fotográfico – bloque cafetería – Samuel Barrientos Restrepo Sede Principal	166
Figura D.45 Registro fotográfico – bloque cocina – Samuel Barrientos Restrepo Sede Principal	167
Figura D.46 Registro fotográfico – bloque entrada – Samuel Barrientos Restrepo Sede Monseñor	168
Figura D.47 Registro fotográfico – bloque aulas – Samuel Barrientos Restrepo Sede Monseñor	169
Figura D.48 Registro fotográfico – bloque rectoría – La Piedad	170
Figura D.49 Registro fotográfico – bloque preescolar – La Piedad.....	171
Figura D.50 Registro fotográfico – bloque laboratorio – La Piedad.....	172
Figura D.51 Registro fotográfico – bloque administrativo – República de Venezuela ..	173
Figura D.52 Registro fotográfico – bloque cocina – República de Venezuela.....	174
Figura D.53 Registro fotográfico – bloque aporticado – San Roberto de Belarmino	175
Figura D.54 Registro fotográfico – bloque de aulas – Santos Ángeles Custodios	177
Figura D.55 Registro fotográfico – bloque cafetería – Santos Ángeles Custodios	178

Figura D.56 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Santos Ángeles Custodios	179
Figura D.57 Registro fotográfico – bloque entrada – Santo Ángel	180
Figura D.58 Registro fotográfico – bloque administrativo – Santo Ángel	181
Figura D.59 Registro fotográfico – bloque sala de profesores – Santo Ángel	182
Figura D.60 Registro fotográfico – bloque administrativo – Antonio Ricaurte	183
Figura D.61 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Isolda Echavarría	184
Figura D.62 Registro fotográfico – bloque nuevo – Isolda Echavarría	185
Figura D.63 Registro fotográfico – bloque administrativo – Juan Echeverri Abad	186
Figura D.64 Registro fotográfico – bloque aulas de clase – Juan Echeverri Abad	187
Figura D.65 Registro fotográfico – bloque rectoría – John F. Kennedy	188
Figura D.66 Registro fotográfico – bloque cocina – John F. Kennedy	189
Figura D.67 Registro fotográfico – bloque cafetería – John F. Kennedy	190
Figura D.68 Registro fotográfico – bloque administrativo – Pedro Estrada	191
Figura D.69 Registro fotográfico – bloque aulas – Pedro Estrada	192
Figura D.70 Registro fotográfico – bloque administrativo – Primitivo Leal La Doctora .	193
Figura D.71 Registro fotográfico – bloque aulas – Primitivo Leal La Doctora	194
Figura D.72 Registro fotográfico – bloque aulas – vivienda – Primitivo Leal La Doctora	195
Figura D.73 Registro fotográfico – bloque nuevo – Primitivo Leal La Doctora	196
Figura D.74 Registro fotográfico – bloque sistemas – Presbítero Antonio Baena Salazar	197
Figura D.75 Registro fotográfico – bloque cocina – Presbítero Antonio Baena Salazar	198
Figura D.76 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Presbítero Antonio Baena Salazar	199
Figura D.77 Registro fotográfico – bloque aulas – Rafael J. Mejía	200
Figura D.78 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Rafael J. Mejía	201
Figura D.79 Registro fotográfico – bloque aulas – María Auxiliadora	202
Figura D.80 Registro fotográfico – bloque baños – María Auxiliadora	203
Figura D.81 Registro fotográfico – bloque rectoría – María Auxiliadora	204
Figura D.82 Registro fotográfico – bloque cocina – María Auxiliadora	205

LISTA DE TABLAS

Tabla 2.1 Sismicidad Histórica de Medellín	15
Tabla 2.2 Formato de la matriz de probabilidad de daño para una tipología dada (Whitman <i>et al.</i> , 1973).....	24
Tabla 2.3 Zonas definidas para los análisis de vulnerabilidad (Consortio Microzonificación 2006, 2007).....	30
Tabla 3.1 Resumen daño evaluado (O'Brien <i>et al.</i> , 2011)	44
Tabla 4.1 Visitas de campo	53
Tabla 6.1 Parámetros de los eventos sísmicos - Índice prioritario	64
Tabla 6.2 Índices prioritarios	70
Tabla 6.3 Clasificación de estructuras índice prioritario – criterio 1	74
Tabla 6.4 Clasificación de estructuras índice prioritario – criterio 2	75
Tabla 6.5 Clasificación de estructuras índice prioritario – criterio 3	75
Tabla 6.6 Clasificación de las estructuras	77
Tabla D.1 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado	121
Tabla D.2 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1	123
Tabla D.3 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2.....	124
Tabla D.4 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado	125
Tabla D.5 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – estructura principal	126
Tabla D.6 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo.....	128
Tabla D.7 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1	129
Tabla D.8 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2.....	130
Tabla D.9 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 3.....	131
Tabla D.10 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 4	132
Tabla D.11 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 5.....	133
Tabla D.12 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 6.....	134
Tabla D.13 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1	135
Tabla D.14 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2.....	136
Tabla D.15 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 3C	137

Tabla D.16 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2.....	138
Tabla D.17 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 5.....	139
Tabla D.18 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado.....	140
Tabla D.19 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo	141
Tabla D.20 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1.....	142
Tabla D.21 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque escaleras	143
Tabla D.22 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2.....	144
Tabla D.23 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	145
Tabla D.24 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque portería ..	146
Tabla D.25 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado.....	147
Tabla D.26 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque baños	148
Tabla D.27 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	149
Tabla D.28 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque central	150
Tabla D.29 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo	151
Tabla D.30 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	152
Tabla D.31 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo	153
Tabla D.32 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría...	154
Tabla D.33 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque psicoorientación.....	155
Tabla D.34 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque laboratorio	156
Tabla D.35 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	157
Tabla D.36 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas	158
Tabla D.37 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque típico de aulas.....	159
Tabla D.38 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque restaurante	160
Tabla D.39 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque capilla.....	161

Tabla D.40 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque música....	162
Tabla D.41 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque principal..	163
Tabla D.42 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque nuevo	164
Tabla D.43 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría...	165
Tabla D.44 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cafetería .	166
Tabla D.45 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina.....	167
Tabla D.46 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque entrada principal	168
Tabla D.47 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas	169
Tabla D.48 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría...	170
Tabla D.49 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque preescolar.....	171
Tabla D.50 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque laboratorio.....	172
Tabla D.51 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo.....	173
Tabla D.52 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina.....	174
Tabla D.53 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado.....	175
Tabla D.54 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque de aulas..	177
Tabla D.55 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cafetería .	178
Tabla D.56 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	179
Tabla D.57 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque entrada...	180
Tabla D.58 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo.....	181
Tabla D.59 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque sala de profesores.....	182
Tabla D.60 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo.....	183
Tabla D.61 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	184
Tabla D.62 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque nuevo	185
Tabla D.63 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo.....	186
Tabla D.64 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas	187
Tabla D.65 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría...	188

Tabla D.66 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina	189
Tabla D.67 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cafetería.	190
Tabla D.68 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo	191
Tabla D.69 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas	192
Tabla D.70 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo	193
Tabla D.71 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas	194
Tabla D.72 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas - vivienda	195
Tabla D.73 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque nuevo	196
Tabla D.74 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque sistemas.	197
Tabla D.75 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina	198
Tabla D.76 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	199
Tabla D.77 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas	200
Tabla D.78 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca	201
Tabla D.79 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas	202
Tabla D.80 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque baños	203
Tabla D.81 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría...	204
Tabla D.82 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina	205

LISTA DE SÍMBOLOS

M	= Magnitud
$Int.$	= Intensidad
h	= Profundidad
$\sum A_{CRT}$	= Suma de áreas de sección transversal de muros de concreto reforzado en la dirección con el área de muro más pequeña en el nivel inferior. Muros continuos en toda la altura del edificio.
$\sum A_{CR}$	= Suma de áreas de sección transversal de muros de concreto reforzado en la dirección con el área de muro más pequeña en el nivel inferior.
$\sum A_C$	= Suma de áreas de sección transversal de las columnas en el nivel inferior
$\sum A_{NR}$	= Suma de áreas de sección transversal de muros de mampostería no reforzada en la dirección con el área de muro más pequeña en el nivel inferior
$\sum A_{PT}$	= Área de piso total por encima del nivel inferior
IM	= Índice de muro
IC	= Índice de columna
IP	= Índice prioritario
W	= Peso total del edificio por encima de la base
W_i	= Peso de acuerdo a la importancia relativa de cada parámetro
K_i	= Coeficiente de calificación de acuerdo a las condiciones de calidad de A (óptima) a D (desfavorable)
I_v	= Índice de vulnerabilidad
Cc	= Columna corta
Ac	= Año de construcción

1. INTRODUCCIÓN

Colombia es un país en donde un porcentaje importante de su territorio está expuesto a un *riesgo sísmico*, que se refiere a la posibilidad o la probabilidad de que ocurran pérdidas (humanas, sociales o económicas) debidas a un sismo. El riesgo sísmico se debe a tres factores: *la amenaza sísmica*, que se relaciona con los movimientos telúricos que pueden ocurrir en un lugar; *la exposición*, que se refiere a la cantidad de personas e infraestructuras que se encuentran en un lugar y pueden llegar a ser afectadas por la ocurrencia de un evento sísmico, y *la vulnerabilidad*, que se relaciona con la capacidad de las edificaciones de resistir eventos sísmicos.

El 87% de la población total de Colombia está ubicada en zonas de amenaza sísmica media a alta (AIS, 2010; DANE, 2005); la Figura 1.1 muestra la ubicación de las capitales de departamento en el mapa de amenaza sísmica de Colombia (AIS, 2010). Adicionalmente, al igual que en muchos países en vías de desarrollo, el crecimiento de la población se concentra en las zonas urbanas del país, lo que implica un alto componente de exposición; para el caso de la ciudad de Medellín, según el *Censo General de 2005 – República de Colombia* (DANE, 2005), la población que se concentra en el Municipio de Medellín equivale al 40% de la población total del departamento de Antioquía.

La reducción del riesgo sísmico recae principalmente en la evaluación y reducción de la vulnerabilidad sísmica. Identificar el nivel de vulnerabilidad permite conocer los daños esperados en una estructura en caso de que ocurra un evento sísmico y tomar decisiones sobre la necesidad de mejorar la capacidad sísmica de la estructura, planteando medidas de prevención y planes de acción. Al realizar un estudio de vulnerabilidad se obtiene un diagnóstico de la capacidad sísmica de las estructuras, identificando aquellas que tienen la capacidad sísmica adecuada, así como también aquellas que requerirían ser repotenciadas o, en el peor de los casos, demolidas.

En la actualidad existen varias metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Algunas metodologías requieren de información detallada de las edificaciones como planos estructurales y propiedades de los materiales, información que

sencillo, que a través de información que sea fácil de obtener en campo, permita identificar de un inventario numeroso de edificaciones las estructuras más vulnerables que requieran de un estudio de vulnerabilidad sísmica detallado.

En esta investigación se realizó una primera clasificación de un grupo de estructuras (instituciones educativas), identificando cuales de ellas deberían someterse a una evaluación detallada de vulnerabilidad sísmica. El procedimiento permitió estimar un nivel de vulnerabilidad a través de un índice que indica el nivel de prioridad de las edificaciones, lo cual permite una priorización de edificios que requieren ser evaluados con mayor detalle.

1.1 ANTECEDENTES

A continuación se da una breve introducción de la sismicidad en la ciudad de Medellín, una reseña del surgimiento de las normas sismo resistentes en Colombia y posteriormente se describe la conformación de los barrios y los asentamientos informales en la ciudad.

1.1.1 Sismicidad en la ciudad de Medellín

La región andina de Colombia, zona donde se encuentra ubicada la ciudad de Medellín –entre otras ciudades importantes del país– está sometida a una amenaza sísmica importante originada por un ambiente tectónico complejo que involucra la convergencia de cuatro placas: Suramérica, Nazca, Caribe y la microplaca de Panamá.

La ciudad de Medellín ha sido afectada por sismos, siendo el más antiguo que se conoce el sismo del 13 de abril de 1792. Los sismos más recientes y que han sido importantes ocurrieron el 6 y 8 de marzo de 1998. Dos sismos que ocurrieron el 17 y 18 de octubre de 1992 afectaron a la ciudad, ocasionado una importante pérdida económica, representada en el daño de edificaciones, dentro de éstas, cerca del 64% (242) de las escuelas existentes en la ciudad (Martínez *et al.*, 1994). Mayor información sobre la sismicidad de Medellín se presenta en el capítulo 2.1.

Medellín es una ciudad que está ubicada en una zona de amenaza sísmica importante. La vulnerabilidad de las edificaciones que se han construido sin normas de sismo resistencia y las que conforman gran parte de los barrios de bajos recursos, es alta. Realizar un estudio de vulnerabilidad a todas las edificaciones tiene un costo económico alto, por lo que resulta importante la aplicación de algún método que permita clasificar dentro del grupo de

estructuras aquellas que ameriten la realización de un estudio de vulnerabilidad sísmica detallado.

1.1.2 Surgimiento de las normas sismo resistentes en Colombia

Desde su fundación en 1975 la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS, se ha encargado del desarrollo de las normas sismo resistentes para el país. El primer trabajo realizado por la AIS fue la traducción del documento elaborado por la Structural Engineers Association of California, SEAOC, en el año 1976. Esta traducción se difundió ampliamente en Colombia. Posteriormente se presentó en 1979 en el medio nacional, la traducción del documento desarrollado por el Applied Technology Council, ATC-3. El documento ATC-3 fue adaptado para el país con la colaboración de la Universidad de Illinois (Champaign-Urbana) y la Universidad de los Andes (Bogotá). Finalmente la AIS propuso una norma de diseño sismo resistente a partir del documento ATC-3, la cual se convirtió en la norma AIS 100-81 (Requisitos Sísmicos para Edificios). Su aplicación se dio de una manera voluntaria por ingenieros en el país.

Los efectos sobre las estructuras después del sismo de Popayán del 31 de marzo de 1983, mostraron la necesidad de ampliar el alcance de la norma AIS 100-81, incluyendo edificaciones de uno y dos pisos y el sistema de mampostería estructural. De acuerdo a esto se elaboró una nueva norma AIS 100-83 (Requisitos Sísmicos para Edificaciones) que incluyó mapas de riesgo sísmico que fueron realizados en el Estudio General del Riesgo Sísmico de Colombia por parte de la AIS (AIS, 1984a).

La ocurrencia del sismo de Popayán propició la generación de la ley 11 de 1983, donde uno de sus artículos autorizaba al Gobierno Nacional para que elaborará un reglamento de construcción “antisísmica” con la posibilidad de hacerlo extensivo y aplicable en todo el país. De esta forma se adoptó para uso obligatorio en todo el país el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes por medio del decreto 1400 de junio 7 de 1984. A través de este código se pretendió subsanar todos aquellos problemas estructurales que se identificaron en las prácticas de construcción a nivel nacional a partir de los efectos producidos por los sismos del 23 de Noviembre de 1979 en el antiguo Caldas, del 12 de Diciembre de 1979 en Tumaco y del 31 de Marzo de 1983 en Popayán.

De acuerdo a información en la página web (<http://www.asosismica.org.co>), eventos sísmicos importantes ocurridos alrededor del mundo como los de México y Chile en 1985, El Salvador en 1986, Spitak en Rusia en 1987, San Francisco en 1989, Los Ángeles 1994 y Kobe en 1995, impulsaron a que la ingeniería sísmica se desarrollará notablemente después de las normas expedidas en el Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes en 1984. En los inicios de la década de 1990, la AIS y la Dirección Nacional para la Prevención y Atención de Desastres iniciaron los respectivos estudios para realizar la actualización del reglamento colombiano de 1984. La actualización del código de 1984 se denominó Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-98, expedida a través del Decreto 33 del 9 de Enero de 1998 con base a la Ley 400 de 1997.

La AIS desde comienzos del año 2008 estuvo encargada de coordinar y dirigir todos los estudios para llevar a cabo una actualización de la norma NSR-98. La nueva actualización de la norma se denominó Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 expedida por medio del Decreto 926 del 19 de marzo de 2010 con base a la ley 400 de 1997. El procedimiento de actualización incluyó una discusión pública del nuevo documento con sus respectivas actualizaciones, colocando el documento en internet y enviándolo a un grupo de profesionales, instituciones y universidades. Cada una de las observaciones realizadas se discutieron con las personas que las enviaron.

1.1.3 Conformación de barrios y asentamientos informales en Medellín

En Medellín se pueden encontrar barrios con estratos socioeconómicos que varían del 1 al 6. Un 67% de la población total se concentra en los estratos socioeconómicos 2 y 3. La Figura 1.2 presenta la distribución de la población en Medellín según el estrato socioeconómico.

La conformación de los barrios de la ciudad de Medellín se ha venido constituyendo de acuerdo al desarrollo económico de la ciudad y a las necesidades de los habitantes. Los barrios se fueron construyendo en amplias zonas verdes como fincas y granjas, las cuales fueron habilitándose dentro de planes urbanísticos para la construcción de dichos barrios. Las zonas donde fueron construidos estos barrios, como es el caso de la comuna 12 (La América), fueron adquiridos a través de la compra de terrenos a grandes propietarios por parte de urbanizadores privados y de entidades como el Municipio de Medellín, el Instituto de Crédito Territorial y la Cooperativa de Habitaciones, de acuerdo a información obtenida

en el sitio web (<http://www.comunalaamerica.org>). La construcción de centros educativos, culturales y zonas residenciales se realizó en gran parte por la intervención de compañías urbanizadoras, pero en otros casos los procesos de urbanización se dieron a través de la autoconstrucción por parte de los habitantes de los barrios. Acorde a lo anterior, existen estructuras con más de 15 años, las cuales tienen una alta vulnerabilidad sísmica –que se relaciona con la capacidad sísmica de las estructuras– debido a las malas prácticas de construcción, al uso de materiales inadecuados, a la construcción de estructuras sin control ingenieril y/o a la falta de normas de sismo resistencia.

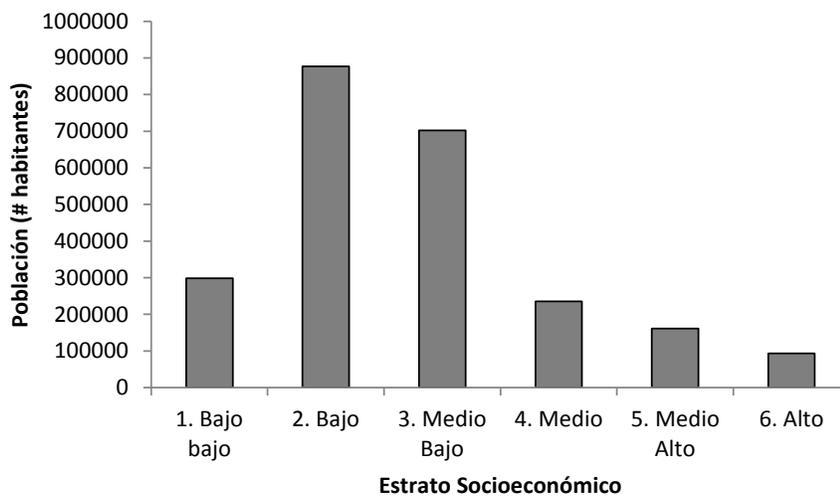


Figura 1.2 Población según estrato socioeconómico de la vivienda. Datos obtenidos de la *Encuesta de Calidad de Vida – Medellín 2011* (Departamento Administrativo de Planeación – Alcaldía de Medellín, 2011)

Sin importar el estrato socioeconómico de los barrios en Medellín, pueden existir estructuras construidas hace más de 15 años, con insuficiencias como presencia de columnas cortas y niveles bajos de detallamiento del refuerzo, que se construyeron sin tener en cuenta normas sismo resistentes, lo cual hace de estas edificaciones construcciones vulnerables ante la ocurrencia de un evento sísmico.

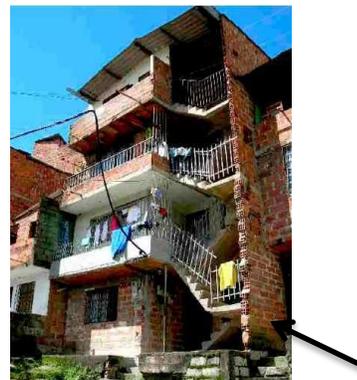
El crecimiento de la población de Medellín también se ha venido concentrando en asentamientos informales ubicados en la periferia y en algunas zonas centrales de la ciudad, que generalmente hacen parte de los estratos 1 y 2 que representan cerca del 50%

de la población total de la ciudad de Medellín (Departamento Administrativo de Planeación – Alcaldía de Medellín, 2011). Algunos asentamientos informales han pasado a ser parte de los barrios con estratos 1 y 2 mediante planes de mejoramiento urbanístico desarrollados por los organismos encargados en la ciudad de Medellín. Dicha ciudad cuenta con 249 barrios oficiales, de éstos cerca de 81 barrios, que corresponden al 32.5% del total urbano, hacen parte hoy en día de programas de mejoramiento integral y de regularización y legalización urbanística; y cerca del 15% de los demás barrios se han ido consolidando en el tiempo aún cuando su origen haya sido mediante un proceso de ocupación ilegal o espontánea (González, 2009). Los asentamientos informales son zonas que se caracterizan por el uso de materiales inadecuados y por las malas prácticas de construcción, características que hacen de estos sitios lugares donde se esperan los mayores efectos a causa de un evento telúrico, debido a la vulnerabilidad sísmica de las estructuras, que está relacionada con el nivel de resistencia que tiene una construcción ante fuerzas generadas por sismos.

Luis Guillermo Aycardi Barreros, un ingeniero civil de gran experiencia y trayectoria en el país, ha mostrado inquietud y preocupación respecto a la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones que se construyen en los asentamientos informales de varias ciudades importantes del país, incluida la ciudad de Medellín. Un ejemplo de la vulnerabilidad de las edificaciones mencionadas se presenta en la Figura 1.4 para la ciudad de Medellín.



Asentamiento Informal



Deficiencia en la construcción, muro débil

Figura 1.3 Asentamientos informales en la ciudad de Medellín - Colombia. Fotos cortesía de Luis G.

Aycardi



Puntales que hacen parte de la estructura



Puntales flexibles sosteniendo un voladizo



Pórticos sin ningún concepto ingenieril



Deficiencia en los materiales y en la construcción

Figura 1.4 Asentamientos informales en la ciudad de Medellín - Colombia. Fotos cortesía de Luis G. Aycardi (continuación)

1.2 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

El riesgo sísmico es el resultado de la combinación de tres elementos, que son: la amenaza sísmica, la exposición y la vulnerabilidad sísmica. El crecimiento rápido de la población en la ciudad de Medellín, las malas prácticas de construcción, el uso de materiales inadecuados, las edificaciones que no contemplan normas sismo resistentes y la amenaza sísmica a la cual está sometido el Municipio, originan el riesgo sísmico al cual están sometidas las estructuras de la ciudad.

Todas aquellas estructuras que presentan alguna o varias de las deficiencias mencionadas anteriormente tienen una alta probabilidad de sufrir daños o colapso ante un evento sísmico, poniendo en riesgo la vida humana, las propiedades y las actividades económicas. Un estudio de vulnerabilidad sísmica debería de realizarse a la mayor cantidad posible de

estructuras, pero es una realidad que un estudio de esta clase requeriría de un alto consumo de tiempo y de dinero. Por lo anterior, en este proyecto se aplica un procedimiento que permite realizar una clasificación de las estructuras al definir niveles de prioridad que indican si las estructuras requieren o no de atención en primer lugar, lo que significa la realización de un estudio de vulnerabilidad sísmica detallado. Un estudio de vulnerabilidad sísmica estima cantidad de daños y pérdidas e identifica estructuras a repotenciar. A partir de los resultados del estudio de vulnerabilidad, los organismos encargados podrían priorizar recursos económicos para afrontar futuros eventos sísmicos y para la reconstrucción de la infraestructura afectada por dichos eventos.

El método utilizado en esta investigación para la clasificación de las estructuras es el método del *índice prioritario* desarrollado inicialmente por Hassan y Sözen (1997). Este método ha sido calibrado en los sismos de 1999 en Turquía (Dönmez y Pujol, 2005) y del 2010 en Haití (O'Brien *et al.*, 2011), países cuyas prácticas constructivas tienen una gran similitud con las usadas en Colombia: edificaciones con falta de conceptos de ingeniería que por lo general se encuentran ubicadas en barrios de bajos recursos y áreas donde se ha construido sin normas de sismo resistencia y/o malas prácticas constructivas. El capítulo 6.4 presenta en detalle las prácticas constructivas en los países mencionados anteriormente.

Los eventos sísmicos afectan gran cantidad de edificaciones, entre ellas instituciones educativas, las cuales se han afectado de manera importante en sismos pasados, y, en algunos casos, con pérdidas importantes de vidas humanas. Los daños severos a los cuales puede estar sometida esta clase de estructuras atentan contra la vida de estudiantes y maestros durante la ocurrencia de un evento sísmico. Si se tiene en cuenta que los menores (estudiantes) en edad escolar pasan la mayor parte de su tiempo en escuelas o instituciones educativas, existe una gran posibilidad de que ocurra un sismo mientras ellos están en el interior de estas edificaciones.

En octubre de 2002, el sismo de Molise en Italia ocasionó el colapso de la escuela de San Guiliano di Puglia, causando la muerte de 27 alumnos y una profesora (WIRED IT, 2012). La Figura 1.5 presenta una imagen de las ruinas de la escuela de San Guiliano di Puglia. En mayo de 2008, el sismo de Wenchuan en Sichuan, China, ocasionó la muerte de cerca de 7,000 estudiantes atrapados en las escuelas afectadas. La Figura 1.6 presenta el

colapso de un jardín de niños en Wenchuan. El sismo que golpeó el área de Spitak en el norte de Armenia durante el horario escolar en 1988, ocasionó la pérdida de vida de muchos menores debido al derrumbamiento de los edificios escolares: 285 niños de un total de 302 murieron en una escuela, casi dos tercios de las muertes totales (25,000) corresponden a las muertes de niños y adolescentes. El sismo de Cachemira en octubre de 2005 en Pakistán ocurrió cuando empezaba la jornada escolar llevando a la muerte de 18,000 menores atrapados en las ruinas de las escuelas (UNCRD, 2009). El sismo ocurrido en Enero de 2010 en Haití, destruyó y/o dañó aproximadamente unas 5,000 escuelas (UNICEF, 2010).



Figura 1.5 Ruinas de la escuela de San Giuliano di Puglia (Italia)
(<http://elpais.com/diario/2002/11/02/internacional/>)



Figura 1.6 Jardín de niños colapsado (Wenchuan)
(http://en.wikipedia.org/wiki/File:Sichuanearthquake_Jiangyou_pic9.jpg)

Las instituciones educativas son edificaciones esenciales, donde se concentran una gran cantidad de personas (menores de edad), por lo que su colapso podría llevar a la pérdida inaceptable de vidas humanas. La “Ley 400 de 1997” y la “Ley 715 de 2001” requieren la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras esenciales, estructuras que ante la ocurrencia de un sismo podrían servir de ayuda para atender la emergencia causada por el evento sísmico y de refugio para las personas afectadas por el desastre ocasionado por un sismo. El numeral A.2.5.1.2 de la norma sismo resistente Colombiana (AIS, 2010) define el Grupo III (Edificaciones de atención a la comunidad) como: *“Este grupo comprende aquellas edificaciones, y sus accesos, que son indispensables después de un temblor para atender la emergencia y preservar la salud y la seguridad de las personas, exceptuando las incluidas en el grupo IV”*, este grupo incluye en el numeral (d) *“Guarderías, escuelas, colegios, universidades y otros centros de enseñanza”*. Para hacer uso de estas edificaciones, es necesario que el comportamiento estructural sea adecuado durante un movimiento fuerte del terreno, sin llegarse a comprometer la estabilidad estructural de las edificaciones.

Esta investigación hizo un énfasis en instituciones educativas, las cuales se encuentran ubicadas en las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta en estratos del 1 al 4. Inicialmente se pretendió visitar edificaciones ubicadas en barrios de bajos recursos de la ciudad de Medellín porque se pensó que en estas zonas se encuentran las edificaciones más vulnerables. Desafortunadamente, por problemas de orden público no fue posible visitar dichas zonas, por lo que se visitaron barrios de otros estratos socioeconómicos. Durante las visitas de campo se encontraron edificaciones que, aunque se localizaban en zonas que no son de bajos recursos, son escuelas que por su calidad de construcción, tipo de materiales, falta de control ingenieril y/o de las normas de sismo resistencia, son estructuras que podrían tener una vulnerabilidad sísmica importante y por lo tanto requieren ser evaluadas. El inventario final de escuelas incluyó diferentes niveles de vulnerabilidad para estructuras construidas con y sin normas de sismo resistencia.

1.3 OBJETIVO GENERAL

Identificar los índices de vulnerabilidad sísmica de escuelas de Medellín, Colombia.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recolectar información de la configuración estructural en comunidades en Medellín.
- Identificar escuelas vulnerables e informar a las autoridades locales.
- Estimar las pérdidas que pueden esperarse en sismos futuros.

1.5 ESQUEMA GENERAL DE LA TESIS

Este trabajo de investigación se concentra en la importancia de la vulnerabilidad sísmica en la reducción del riesgo sísmico y plantea la utilización de un procedimiento simple (índice prioritario) para la clasificación de estructuras de un inventario de instituciones educativas, identificando las edificaciones más vulnerables a las que se debería realizar un estudio detallado de vulnerabilidad sísmica. Para contextualizar la tesis, en el capítulo dos se presenta la sismicidad histórica de Medellín, la definición del concepto de riesgo sísmico, las diferentes metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad de las estructuras y la tipología de construcciones en la ciudad de Medellín. En el capítulo tres se habla acerca del método seleccionado (índice prioritario) para estimar una medida de la vulnerabilidad sísmica de las escuelas en Medellín. Los capítulos cuatro y cinco hablan del trabajo realizado en campo y del análisis de la información recopilada durante las visitas a las instituciones. El capítulo seis presenta los resultados de la clasificación de las estructuras en estudio. En el capítulo siete se presentan las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación. El trabajo incluye en la parte final unos anexos que contienen el formato para la recolección de información en campo, una guía para el manejo de dicho formato y una ficha técnica de cada estructura con su respectivo registro fotográfico.

2. INFLUENCIA DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LA REDUCCIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

En este capítulo se presenta una revisión de la sismicidad histórica de Medellín, se define el concepto de riesgo sísmico y cada uno de sus componentes, se presentan las diferentes metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y finalmente se exponen las tipologías de construcción en la ciudad de Medellín.

2.1 SISMICIDAD HISTÓRICA DE MEDELLÍN

Los estudios históricos sobre sismicidad que se han venido desarrollando en Colombia desde la primera mitad del siglo XX se fundamentan en investigaciones realizadas al final del siglo XIX y en documentos coloniales, los cuales consisten en anotaciones personales, registros, diarios, y catálogos que fueron llevados por determinados periodos de tiempo. Dentro de los estudios científicos que fueron realizados a finales del siglo XIX se destaca “La Cronología Sísmica de Don Francisco Javier Vergara y Velasco”, publicada en 1898 en la revista *Anales de la Ingeniería* de la Sociedad Colombiana de Ingenieros (Espinosa, 2003); esta cronología es catalogada como la primera investigación de sismicidad histórica de Colombia. Posteriormente personajes como el Padre Jesús Emilio Ramírez y diversos historiadores regionales y nacionales, dieron los primeros pasos en la historia sísmica del país, que terminaría convirtiéndose en un trabajo permanente y sistemático, el cual se retroalimenta con el transcurrir de los años.

Se entiende como sismos históricos todos los eventos que fueron registrados antes de 1922, año en el que se instala el primer sismógrafo en Colombia. En 1994 se inauguró oficialmente la Red Sismológica Nacional de Colombia (RSNC), la cual es operada por el Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS); esta red es una entidad que hace parte del Sistema Nacional para la Atención y Prevención de desastres, encargada de dar una alerta temprana a la ocurrencia de un evento sísmico en el Territorio Nacional, además lidera las investigaciones sismológicas en el país. Actualmente la RSNC cuenta con 50 estaciones sismológicas, las cuales transmiten datos en tiempo real vía satelital y a través de una red de área local LAN (Local Area Network). Según información del sitio web de la Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia (RNAC)

(www.ingeminas.gov.co/RNAC), la red cuenta con 81 estaciones activas, las cuales tienen equipos instalados en la actualidad y son de carácter permanente; 25 estaciones inactivas, que dejaron de funcionar por diversos motivos; y 61 estaciones de red portátil, que son instaladas durante un periodo específico con diferentes fines: registrar réplicas después de un sismo fuerte, recolección de información para estudios de microzonificación, estudios de vibración ambiental, etD.

Adicional a la red nacional, existen en el país varias redes locales instaladas, como la Red de Acelerógrafos de Santafé de Bogotá (RSB), la Red Acelerográfica de Medellín (RAM), la Red Acelerográfica de Santiago de Cali (RAC) y el Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente Colombiano (OSSO), el cual opera la Red sismológica del Suroccidente Colombiano (REDSW), con sede en la ciudad de Cali.

En la Tabla 2.1 se presentan varios sismos importantes para Colombia y que han afectado la ciudad de Medellín de acuerdo a los estudios realizados por el Padre Jesús Emilio Ramírez (1975), el *Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia* (2009), la *Microzonificación y Evaluación del Riesgo del Valle de Aburrá* (2007), e información disponible en la página web del Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (<http://seisan.ingeminas.gov.co/RSNC/index.php/component/jevents/>). La información consignada en la tabla se obtuvo de la sismicidad histórica Colombiana y de la sismicidad instrumental que se ha venido adelantando en el país desde el año en el que se instaló el primer sismógrafo en el Territorio Nacional (1922).

La Figura 2.1 presenta la ubicación de los epicentros de los sismos históricos importantes para la ciudad de Medellín, presentados en la Tabla 2.1. Esta información permite establecer geográficamente el nivel de amenaza al que ha estado sometida la ciudad de Medellín en una ventana de tiempo de aproximadamente 200 años.

Medellín, al igual que otras ciudades importantes de Colombia, se encuentra ubicada en la región andina del país (parte septentrional del bloque andino, localizado en la esquina noroccidental de Suramérica), la cual está sometida a una amenaza sísmica importante ya que se encuentra en un ambiente tectónico complejo, siendo este el producto de la convergencia de cuatro placas: Suramérica, Nazca, Caribe y la microplaca de Panamá. La interacción y el movimiento continuo entre las placas, las cuales se mueven en diferentes direcciones y velocidades, generan varios efectos que producen sismos, entre los cuales se

destacan los que ocurren en los límites de dos placas y los que ocurren al interior de las placas. El resultado de los esfuerzos liberados durante la ocurrencia de estos sismos ha generado fracturas que en la corteza se conocen como fallas geológicas. En el bloque andino se han generado grandes fracturas, alguna de ellas con varios cientos de kilómetros de longitud, las cuales generan sismos superficiales; las fallas que se encuentran cerca de la ciudad de Medellín y las más sobresalientes por su actividad sísmica hacen parte de los sistemas de Espíritu Santo, Romeral, Cauca, Palestina y el grupo que incluye las fallas de Murri, Murindó y Mutatá, ubicadas en la cordillera Occidental (Consortio Microzonificación 2006, 2007).

Tabla 2.1 Sismicidad Histórica de Medellín

Fecha	M	Localización	Int.	h(km)	Comentario
13 abril 1792	-	6.2° N, 75.6°W	I	-	Una serie de temblores empezaron en esta fecha y continuaron hasta el 10 de junio. No cesó de atemorizar a los habitantes de Medellín, se reportaron muchas casas destruidas en la ciudad de Antioquia y la iglesia de Santa Rosa.
15 septiembre 1868	-	6.2° N, 75.5°W	I	-	En Medellín se sintió un fuerte temblor.
31 enero 1906	M _s 8.2	1.0°N, 81.5°W	X	25	Evento generado en la costa de Tumaco, por la subducción a lo largo del pacífico; es uno de los más grandes registrados a nivel mundial en tiempos modernos. Este temblor se sintió desde el Valle del Atrato y Medellín en el norte, hasta Guayaquil y Cuenca en el sur de Ecuador.
31 octubre 1928	-	6.3°N, 75.5°W	I	-	Se sintió en la ciudad de Medellín.
30 julio 1962	M _s 6.9	5.40°N, 75.6°W	-	69	Afectó gravemente los departamentos de Caldas, Risaralda, sur de Antioquia y norte del Valle del Cauca. Docenas de muertos y cientos de heridos. En Sonsón sufrieron principalmente la casa cural, las escuelas Sucre y Joaquín Antonio Uribe, el Teatro Municipal, el matadero y la cárcel.
11 octubre 1966	-	6.7°N, 75.8°W	I	-	Localizado al N-W de la ciudad de Medellín (Andes, Antioquia).
23 noviembre 1979	M _w 7.2	4.81°N, 76.2°W	VIII	108	Causó 50 muertos y 500 heridos, daños en varias ciudades. En Medellín el Hospital San Vicente de Paúl, la iglesia de El Poblado, el Teatro Bolivia y varias casas resultaron afectadas.
17 y 18 octubre 1992	M _s 6.8 - 7.3	6.88°N, 76.8°W 7.15°N, 76.8°W	X	32	Eventos originados en Murindó (Antioquia). Ambos sismos se sintieron en Medellín a 150 km del epicentro. En esta ciudad, a pesar de haberse registrado valores bajos de aceleración, la pérdida económica fue importante.
6 y 8 marzo 1998	M _L 5.4 - 5.5	6.3°N, 73.9°W 6.27°E, 73.9°W	-	-	Sismos superficiales asociados a la falla Salinas, se sintieron con notable fuerza en un sector de la ciudad de Medellín.

M = Magnitud, Int. = Intensidad, h = Profundidad focal, M_s = Magnitud de onda superficial, M_w = Magnitud de momento, M_L = Magnitud local

Por otro lado, la placa Nazca subduce bajo la placa Suramérica a lo largo de la costa pacífica colombiana, convirtiéndose ésta en otra importante fuente de sismicidad

generadora de sismos superficiales hacia el Océano Pacífico y de sismos profundos hacia el centro del país. De este tipo de fuentes se destacan las del viejo Caldas, Bucaramanga y la subducción local bajo el Valle de Aburrá, las cuales corresponden a la llamada zona de Benioff-Wadati y las fuentes Darién y Tumaco que corresponden al contacto entre placas conocido en la literatura como el *megathrust*, (Consortio Microzonificación 2006, 2007). Las figuras 2.2 y 2.3 muestran la sismicidad superficial y profunda de Colombia.

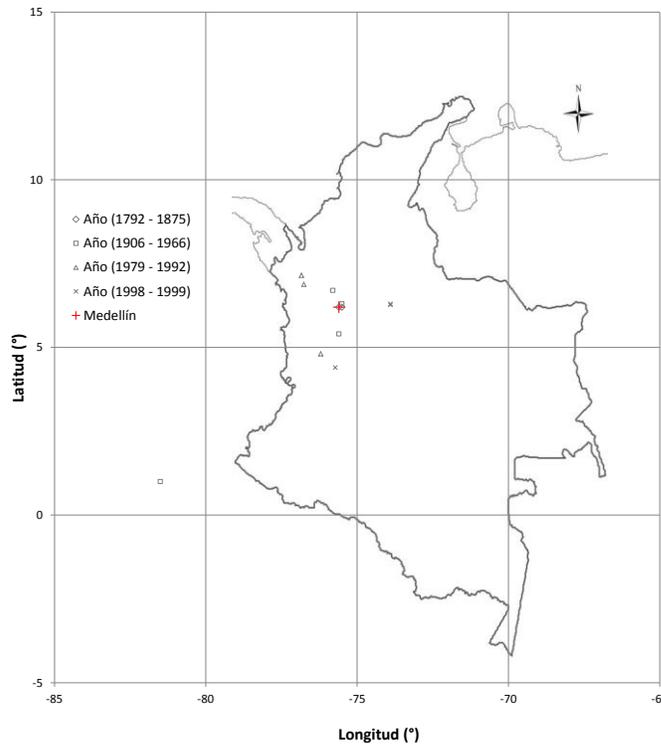


Figura 2.1 Sismicidad Histórica de Medellín

El estudio realizado por el consorcio Evaluación de Riesgos Naturales (ERN) -Colombia- (2004), habla de dos sismos recientes que han afectado la ciudad de Medellín: sismos del 17 y 18 de octubre de 1992 con epicentros cercanos a Murindó (Antioquia). Las pérdidas económicas y los daños generados en las edificaciones por estos sismos fueron considerablemente altas. Estos eventos tuvieron epicentros en las cabeceras de los ríos Coredó y Murindó, sobre la traza de la falla Murindó. El segundo sismo se sintió en todo el país y fue seguido por cerca de mil réplicas, algunas de las cuales alcanzaron una magnitud de 4.7 grados. En la ciudad de Medellín, ubicada a 150 km del epicentro del evento, se registraron valores bajos de aceleraciones; la aceleración máxima registrada fue de 29.95 gals, aproximadamente 0.03g en dirección oeste-este (Martínez *et al.*, 1994), pero

el daño y la pérdida económica fue importante. A pesar de que la ciudad de Medellín fue afectada por los dos sismos de manera leve a moderada, los eventos produjeron deterioro en 243 inmuebles privados (establecimientos comerciales, iglesias, teatros y residencias) de los cuales 25 tuvieron daños severos; adicionalmente fueron afectados 20 edificios públicos y cerca del 64% (242) de las escuelas existentes en la ciudad.

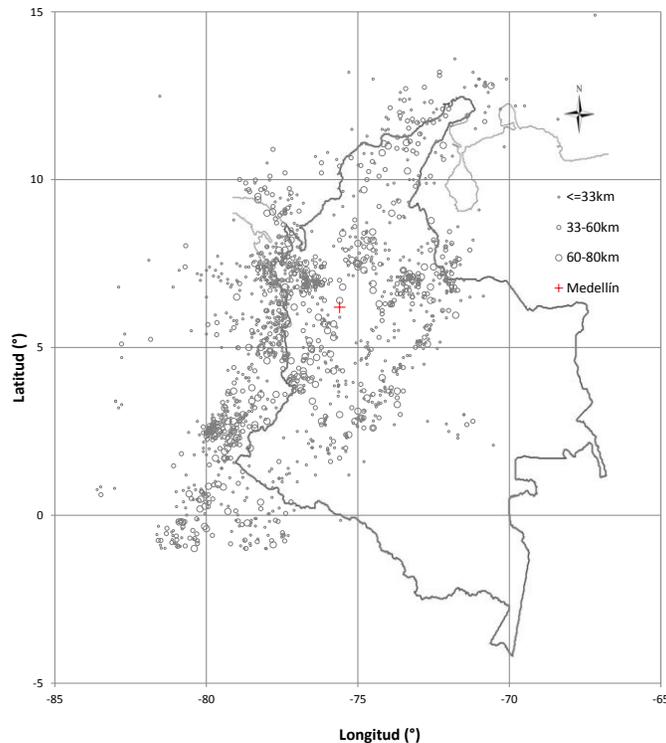


Figura 2.2 Sismicidad Superficial de Colombia (sismos desde 1904 hasta 2011)

La sismicidad histórica de Medellín brinda un aporte de gran importancia, muestra sismos que han ocurrido y se han sentido en la ciudad, y eventos de movimiento del terreno con registros de bajas aceleraciones que han causado pérdidas económicas considerables. Cada uno de los eventos sísmicos históricos es un ejemplo de la amenaza sísmica que presenta Medellín, por lo que se debe prestar una atención especial en el tema de riesgo sísmico, requiriendo la generación de organismos de prevención que procuren reducir dicho riesgo.

La gran mayoría de los habitantes de la ciudad de Medellín han olvidado el riesgo sísmico al cual se encuentran expuestos cada día, debido a que la ventana de tiempo en la cual ocurren estos eventos sísmicos es amplia, de varias decenas de años. El último sismo importante presentado antes del evento sísmico de Murindó (Antioquia) –que ocasionó

pérdidas importantes en la ciudad de Medellín– fue el ocurrido trece años atrás, el 23 de noviembre de 1979 en la “zona cafetera” del país; otros sismos importantes después del suceso de Murindó (Antioquia) fueron los ocurridos siete años después, el 6 y 8 de marzo de 1998, los cuales se sintieron con notable fuerza en Medellín.

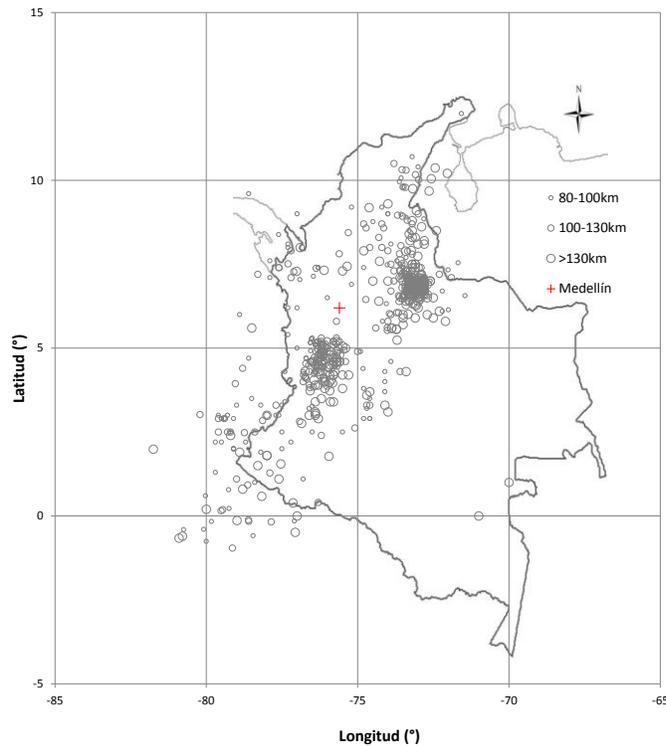


Figura 2.3 Sismicidad Profunda de Colombia (sismos desde 1904 hasta 2011)

La amenaza sísmica (efecto de los sismos que pueden causar daño a las edificaciones y su entorno), en conjunto con la vulnerabilidad (la probabilidad de daño en una estructura cuando está expuesta a un evento sísmico) y la exposición sísmica (la población, edificaciones, instalaciones e infraestructura que se encuentra en el sitio donde puede ocurrir un sismo) dan origen al riesgo sísmico al cual se encuentran sometidas las estructuras. La vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en algunas ocasiones es la consecuencia de la combinación de aspectos como la pobreza y, en algunos casos, la falta de educación, que dejan como resultado un crecimiento de la infraestructura de la ciudad sin control ni planeación ingenieril, en áreas donde se ha construido sin tener en cuenta normas de sismo resistencia, donde las prácticas de construcción contemplan el uso de materiales inadecuados o de baja calidad y finalmente terminan convirtiéndose en

construcciones vulnerables, que amenazan la vida humana bajo la ocurrencia de un evento sísmico.

En los últimos años la población ha venido creciendo considerablemente debido a que la ciudad se encuentra en desarrollo, por lo tanto los niveles de riesgo sísmico han aumentado en comparación con lo que se tenía años atrás, ya que se tiene una mayor exposición ante un evento sismo. La comunidad y todos los grupos que hacen parte de la ciudad de Medellín deben estar lo suficientemente preparados ante la ocurrencia de un sismo futuro, con el objetivo de minimizar la pérdida de vidas humanas y económicas.

El riesgo sísmico en Medellín es inminente, por lo que es necesario que se generen jornadas educativas que concienticen a la comunidad respecto a la amenaza sísmica, se realicen planes de acción que generen medidas preventivas para afrontar un sismo futuro, se destinen recursos para la rehabilitación y repotenciación de estructuras, y para el análisis y ejecución de programas de planeación y control que deben ser aplicados después de la ocurrencia de un sismo.

2.2 RIESGO SÍSMICO

El riesgo sísmico puede ser definido como la posibilidad o la probabilidad de que ocurran pérdidas (las cuales pueden ser: humanas, sociales o económicas) debido a la ocurrencia de un sismo (Bommer, 2003). El riesgo sísmico está compuesto por tres factores: amenaza sísmica, exposición y vulnerabilidad.

La amenaza sísmica representa los efectos que los sismos pueden producir en el lugar donde se encuentran las estructuras o cualquier proyecto de ingeniería. La exposición se refiere a la actividad humana localizada en las zonas de amenaza sísmica, la cual incluye a la población, las viviendas, las oficinas, las líneas vitales, y la inversión en términos de industria y comercio, etD. La vulnerabilidad se refiere a la susceptibilidad de los elementos expuestos a efectos sísmicos, en otras palabras entre más alta sea la vulnerabilidad sísmica, más baja es la resistencia de la estructura.

De acuerdo a lo anterior, los elementos que se encuentran en riesgo son las vidas humanas, las propiedades (infraestructura) y actividades económicas. Para disminuir el riesgo sísmico es necesario reducir la vulnerabilidad de las estructuras, ya que la amenaza

sísmica no se puede alterar, pues esta es función de la naturaleza y la exposición pocas veces se puede modificar

Teniendo en cuenta que los recursos económicos son limitados, no es posible reducir la vulnerabilidad a un mínimo absoluto; además, la demanda que un sismo puede establecer sobre un edificio puede llegar a ser extrema, requiriendo de un sistema estructural robusto con resistencias altas ante condiciones sísmicas extremas. Es necesario entonces una evaluación cuantitativa de la amenaza sísmica, que permita un diseño el cual logre equilibrar una resistencia sísmica suficiente con las limitaciones económicas. El equilibrio económico se da entre el costo adicional a necesario para reducir la vulnerabilidad sísmica y el costo adicional de las pérdidas potenciales que se evitan con la primera inversión (Bommer, 2003).

La importancia de la vulnerabilidad en el control del riesgo no se puede sobrestimar, cualquier comparación de sismos en países del tercer mundo con sismos en países desarrollados revela la influencia crítica de la vulnerabilidad en la determinación del riesgo sísmico. El sismo de Haití de enero de 2010 tuvo una magnitud de momento M_w de 7.0 (USGS, 2010b; USGS, 2010c) y dejó un número de muertos de, al menos, 222,570. Aproximadamente dos meses después el sismo de Chile, significativamente más grande con una magnitud M_w 8.8, dejó un número de muertos de alrededor de 528 personas (USGS, 2010a). El número de muertos que dejaron los sismos de Haití y Chile evidencia la importancia de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras: por un lado las edificaciones construidas en Haití carecen de especificaciones sismo resistentes y la calidad de los materiales usados en construcción es baja, mientras que en Chile se ha logrado una gran conciencia sísmica, por lo tanto es un país donde se construye teniendo en cuenta parámetros ingenieriles y normas sismo resistentes.

Adicionalmente la población aumenta, por consiguiente la exposición y a su vez el riesgo sísmico aumenta, a no ser que se tomen las medidas necesarias para mitigar el riesgo sísmico.

Con el objetivo de reducir el riesgo sísmico, disminuyendo la vulnerabilidad de las estructuras, las diversas normas sismo resistentes colombianas (AIS, 1984b; AIS, 1998 y AIS, 2010), establecen requisitos mínimos para la construcción que garantizan un nivel de seguridad estructural de acuerdo a la intensidad sísmica del movimiento del terreno.

El *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR10* (AIS, 2010), establece como objetivo principal reducir a un mínimo el riesgo de la pérdida de vidas humanas y minimizar los daños a la propiedad del estado y de los ciudadanos, estableciendo que las estructuras diseñadas y construidas, siguiendo los requisitos del código sismo resistente deberán: *“resistir además de las cargas de uso, sismos de poca intensidad sin daño; resistir sismos de intensidad moderada sin daño estructural, pero posiblemente con algún daño no estructural; resistir sismos fuertes con daños en los elementos estructurales y no estructurales pero sin colapso”*.

El conocimiento de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras es fundamental para tomar las medidas necesarias para la reducción del riesgo sísmico; es por esto que se han desarrollado una gran cantidad de metodologías para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, que involucran procedimientos de tipo estadístico, métodos analíticos y empíricos de las estructuras, métodos donde la base fundamental es el juicio y criterio de profesionales expertos en cuanto al tema de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

2.3 METODOLOGÍAS PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

La reducción del riesgo sísmico comienza con el conocimiento y la evaluación de los efectos sísmicos sobre las edificaciones. El conocimiento de la amenaza sísmica y de la vulnerabilidad de las estructuras permite medir el impacto que tienen los sismos sobre las construcciones. Un estudio de evaluación del riesgo tiene como objetivo principal realizar una estimación de pérdidas, para lo cual es necesario en primera instancia definir la amenaza sísmica a la cual está sometida la estructura o el grupo de estructuras en estudio, y posteriormente a través de un estudio de vulnerabilidad sísmica, obtener niveles de daño de las estructuras de acuerdo al nivel de amenaza sísmica dado. Debido a que la representación del riesgo sísmico obedece a una amenaza que es medida en términos de probabilidades (pues no se conocen con certeza los eventos sísmicos que puedan ocurrir en el futuro), un estudio de vulnerabilidad sísmica deberá generar probabilidades de daño de las edificaciones de acuerdo a los diferentes escenarios sísmicos que puedan llegar a presentarse (Consortio Microzonificación 2006, 2007). De acuerdo a lo anterior, una evaluación de la vulnerabilidad sísmica se debe llevar a cabo en términos de la demanda sísmica a la cual están sometidas las edificaciones a través de un parámetro sísmico que busca correlacionar el movimiento del terreno con el daño en las edificaciones.

Los estudios de vulnerabilidad tradicionalmente han usado medidas discretas para la representación de la demanda sísmica como la intensidad macrosísmica y la aceleración pico efectiva. Estudios recientes involucran espectros de respuesta generados a partir de registros del movimiento fuerte del terreno. Los métodos que han sido propuestos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en estudios de estimación de pérdidas y/o de riesgo sísmico pueden ser divididos en dos categorías principales: empíricas y analíticas, ambas categorías pueden ser usadas dentro de los métodos híbridos. La Figura 2.4 presenta las componentes de un estudio de riesgo sísmico y las diferentes opciones para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras (Calvi *et al.*, 2006).

En los estudios de vulnerabilidad sísmica empíricos las escalas de daño son usadas para producir estadísticas de daño después de la ocurrencia de un evento sísmico a partir de observaciones realizadas en campo, mientras que en un estudio de vulnerabilidad analítico, la escala de daño se relaciona con estados límites de capacidad de los edificios, como la capacidad de deriva de una estructura (Calvi *et al.*, 2006).

2.3.1 Métodos empíricos

Este tipo de estudio fue inicialmente desarrollado y calibrado como una función de la intensidad macrosísmica y fue el único método que pudo ser empleado inicialmente de una manera razonable en el análisis del riesgo sísmico a escalas urbanas. Existen dos tipos principales de métodos empíricos: estudios basados en matrices de probabilidad de daños (DPMs) y evaluaciones basadas en funciones de vulnerabilidad.

El método de las matrices de probabilidad de daño, DPM (Whitman *et al.*, 1973) es uno de los primeros métodos disponibles a escala urbana. El DPM se basa en la idea de que un grupo de edificaciones con una tipología estructural similar, tendría el mismo comportamiento ante cargas sísmicas y de la misma forma, el nivel de daño sería estadísticamente igual para todo el grupo de edificios (Consortio Microzonificación 2006, 2007).

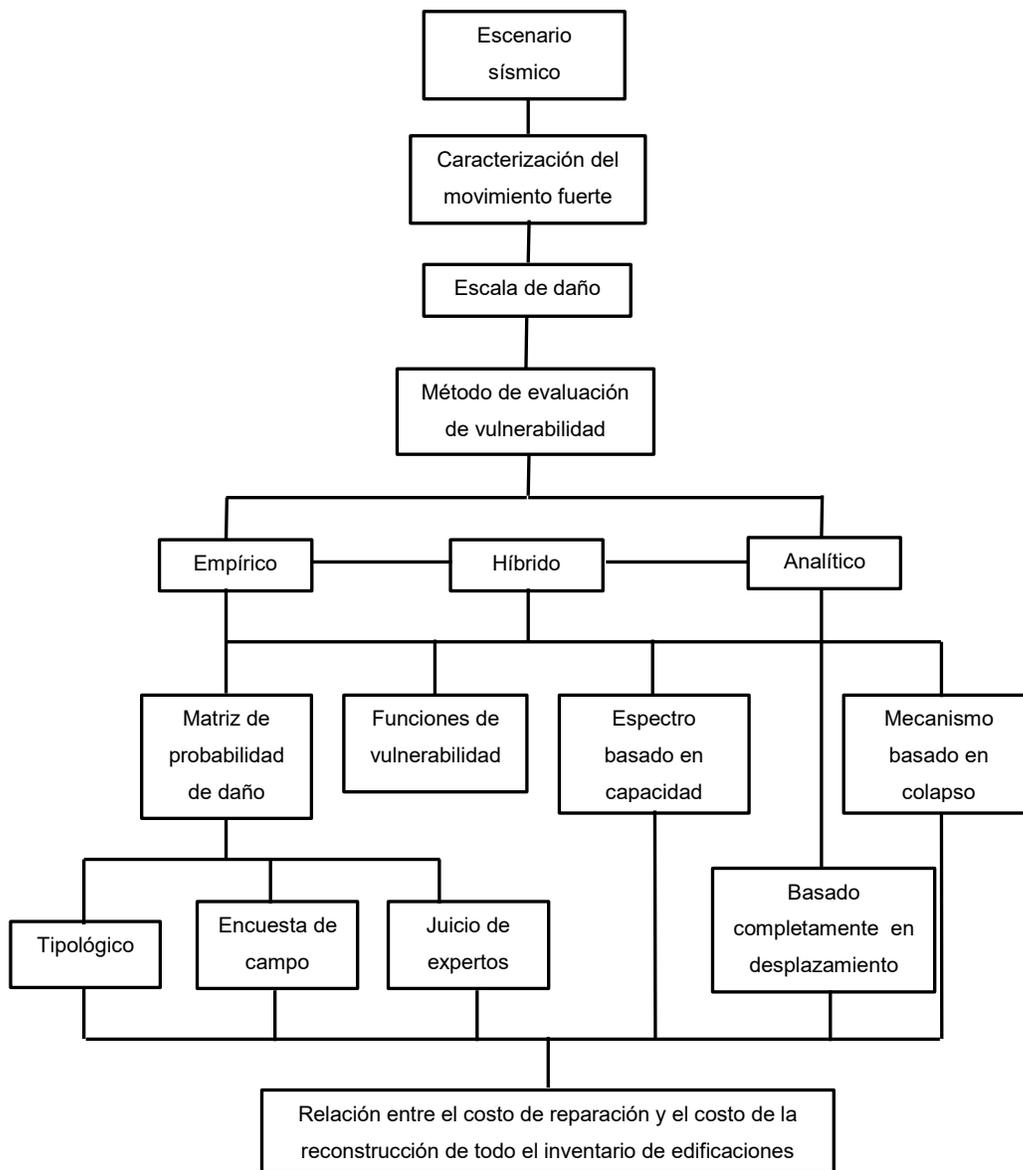


Figura 2.4 Componentes de la evaluación del riesgo sísmico y opciones para los estudios de vulnerabilidad sísmica (Calvi *et al.*, 2006)

La Tabla 2.2 presenta la matriz de probabilidad de daño de las edificaciones (DPM), propuesta de forma general por Whitman *et al.* (1973). Cada número en la matriz (indicado por --) expresa la probabilidad que una construcción de determinada clase experimente un nivel de daño por causa de una intensidad sísmica dada. La relación de daño se define como la relación entre el costo de reparación y el costo de reposición. El número de estados de daño considerados generalmente varía de cuatro a seis, con la tendencia de no utilizar demasiados estados, ya que es difícil identificarlos (Bonett, 2003).

Whitman *et al.* (1973) realizó varias matrices de probabilidad de daño (DPMs) para varias tipologías estructurales de acuerdo al daño generado en más de 1,600 edificios por el sismo de San Fernando en 1971.

Tabla 2.2 Formato de la matriz de probabilidad de daño para una tipología dada (Whitman *et al.*, 1973)

Estado de daño	Daño estructural	Daño no estructural	Relación de daño	Intensidad del Sismo				
				V	VI	VII	VIII	IX
0	Ninguno	Ninguno	0 - 0.05	--	--	--	--	--
1	Ninguno	Menor	0.05 - 0.3	--	--	--	--	--
2	Ninguno	Puntuales	0.3 - 1.25	--	--	--	--	--
3	No Apreciable	Distribuidos	1.25 - 3.5	--	--	--	--	--
4	Menor	Substanciales	3.5 - 4.5	--	--	--	--	--
5	Substancial	Severo	7.5 - 20	--	--	--	--	--
6	Mayor	Casi total	20 - 65	--	--	--	--	--
7	Construcción en ruinas		100	--	--	--	--	--
8	Colapso		100	--	--	--	--	--

Este método también fue denominado “directo” por Corsanego y Petrini (1990), ya que existe una relación directa entre la tipología del edificio y el daño observado. Una de las primeras versiones de este tipo de metodologías fue realizada por Braga *et al.* (1982), el cual se basó en información de daño de edificios en Italia después del sismo de Irpinia en 1980. Estos edificios fueron divididos en tres clases de vulnerabilidad (A, B y C) y una matriz de probabilidad de daño basada en la escala macrosísmica MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik) fue evaluada para cada clase. Diversas modificaciones y adaptaciones han sido realizadas por diversos autores al método de las matrices de probabilidad de daño. Una clase de vulnerabilidad adicional, la clase D, fue incluida dentro de la metodología usando la escala EMS-98 (Escala Macrosísmica Europea) (Grünthal, 1998) para tener en cuenta los edificios construidos desde 1980 (Consortio Microzonificación 2006, 2007; Calvi *et al.*, 2006).

El método de las matrices de probabilidad de daño basado en la opinión de expertos, fue introducido inicialmente en la ATC-13 (ATC, 1985). Cardona y Yamín (1997) llevaron a cabo la estimación de escenarios de pérdidas debidas a sismos como parte de un proyecto integrado de riesgo para la ciudad de Bogotá. Las matrices de daño se ajustaron a partir de las publicadas en el ATC-13 (Consortio Microzonificación 2006, 2007; Calvi *et al.*, 2006).

Las DPMs calibradas para un grupo específico de edificaciones, pueden no ser las indicadas para otras zonas o regiones, y su elaboración está afectada por un nivel de subjetividad que, a su vez, aumentan el nivel de incertidumbre en los resultados.

Una extensión del Método DPM es el método de índices de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini, 1984; GNDT, 1993). Este método se basa en una gran cantidad de información obtenida en campo, donde dicha información es recolectada con un formato especialmente diseñado, por medio del cual se pretende identificar la tipología y las características constructivas de cada edificio, para luego ser combinadas bajo ciertas reglas para obtener un índice de vulnerabilidad (I_v). Este método obtiene un índice de vulnerabilidad como una medida ponderada de once parámetros de los cuales solo uno se obtiene con un modelo mecánico. El índice de vulnerabilidad de cada edificio se evalúa usando la siguiente fórmula, donde K_i es el coeficiente de calificación de acuerdo a las condiciones de calidad y W_i es el peso de acuerdo a la importancia relativa de cada parámetro:

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i W_i \quad (2.1)$$

En este método de índices de vulnerabilidad, la demanda sísmica se representa por valores de aceleración pico efectiva (PGA) y la probabilidad de alcanzar cierto nivel de daño mediante un factor que varía entre 0 y 1. Chavarría y Gómez (2001) hicieron una adaptación de esta metodología para un estudio específico en la ciudad de Cali. Este tipo de metodologías requiere del juicio de expertos para ser aplicada en la evaluación de edificios y los respectivos coeficientes y pesos, que se usan en el cálculo de los índices de vulnerabilidad, tienen un grado de incertidumbre que generalmente no se tiene en cuenta (Calvi *et al.*, 2006).

El método de las curvas de vulnerabilidad continuas utiliza funciones de vulnerabilidad que se basan en el daño de edificios a causa de sismos pasados. Uno de los problemas en su formulación es el hecho de manejar la intensidad macrosísmica que no es una variable continua. Este inconveniente fue superado por Spence *et al.* (1992) con la ayuda de su escala de intensidad sin parámetros (PSI), para derivar funciones de vulnerabilidad en términos de aceleración pico efectiva (PGA) y basado en el daño observado de edificios, usando la escala macrosísmica MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnik).

2.3.2 Métodos analíticos

Los métodos mecánicos o analíticos, predicen los efectos sísmicos sobre la estructura mediante modelaciones mecánicas de las edificaciones. Estos métodos tienden a ser un poco más detallados en los procedimientos para la evaluación de la vulnerabilidad, ya que este tipo de metodología trabaja con leyes físicas que involucran las características mecánicas de las edificaciones. Esta metodología permite la realización de estudios de sensibilidad detallados y también la calibración de varias características del inventario de edificios y de la amenaza. Los métodos analíticos han sido usados para generar curvas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño a través de análisis computacionales. La Figura 2.5 presenta el resumen de las componentes básicas para derivar curvas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño analíticamente.

Curvas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño fueron generadas por Singhal y Kiremidjian (1996), para tres categorías de estructuras apertadas de concreto reforzado usando la metodología de simulación de Monte Carlo. Las probabilidades de daño en las edificaciones se analizaron a través de modelos dinámicos no lineales. La intensidad Macrosísmica de Mercalli Modificada se usó como parámetro sísmico, mientras que la aceleración espectral se usó para el cálculo de funciones de vulnerabilidad. Las principales componentes de la metodología para la identificación de curvas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño son: la caracterización de una estructura al estar sometida a cargas dinámicas, la demanda sísmica (potencial sísmico), la respuesta estructural teniendo en cuenta la variabilidad en la aplicación de diferentes sismos y la incertidumbre de la respuesta estructural.

Una de las desventajas de este método que genera curvas de vulnerabilidad analíticamente, es que los modelos involucran un alto gasto computacional además de un alto consumo de tiempo para la realización de los respectivos análisis y las curvas de vulnerabilidad no pueden ser fácilmente obtenidas para diferentes zonas o países con diversas características de la construcción (Calvi *et al.*, 2006).

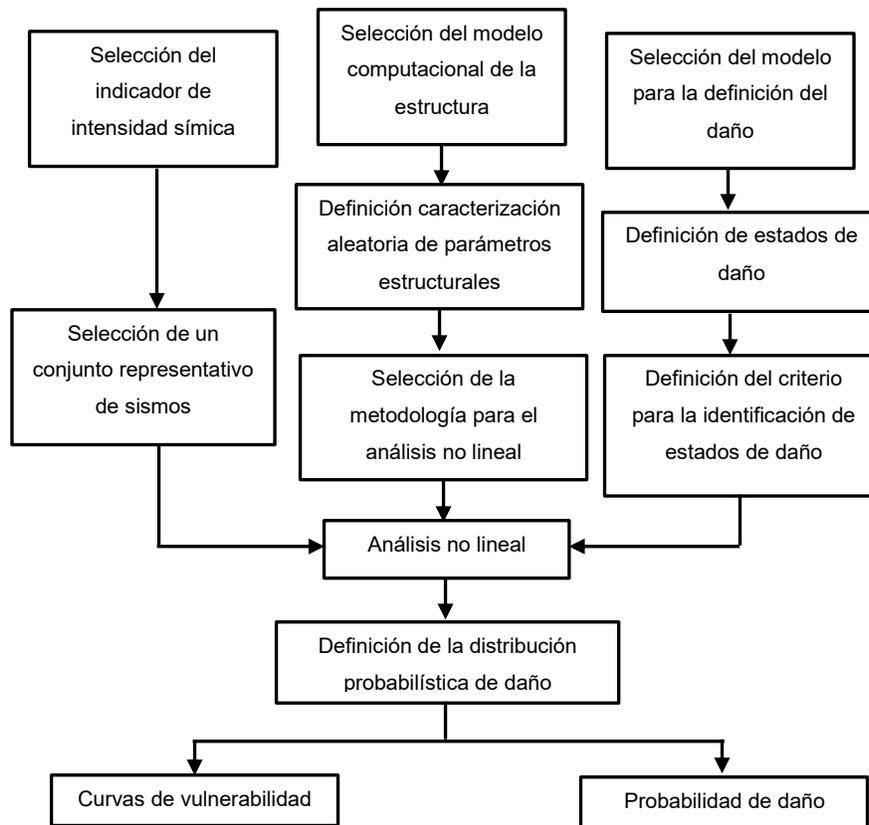


Figura 2.5 Componentes básicos para derivar curvas de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daño de forma analítica (Calvi *et al.*, 2006)

Dentro de los modelos analíticos se encuentra un tipo de metodología para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica denominada metodología híbrida, la cual combina estadísticas de daño a partir de observaciones post-sísmicas con simulaciones de estadísticas de daño a partir de análisis dinámicos no lineales. Este tipo de metodologías se esfuerza en superar desventajas o inconvenientes que se presentan al utilizar cierto tipo de métodos ya sean empíricos o analíticos. En el caso de presentarse falta de información de daño para ciertos niveles de intensidad sísmica en determinada zona en estudio, una modelación analítica permitiría solucionar este tipo de problemas y por otro lado las modelaciones analíticas y sus resultados pueden ser calibrados con la información de daño disponible y que se obtiene mediante la observación después de la ocurrencia de un evento sísmico. Al ser un modelo que no involucra en su totalidad simulaciones analíticas, el consumo computacional se reduce considerablemente. Kappos *et al.* (1995, 1998) usaron el método híbrido para derivar matrices de probabilidad de daño, donde ciertas partes de las DPMs fueron generadas para cada nivel de intensidad con información de daño disponible de sismos

pasados; y otras partes de las matrices de probabilidad de daño se construyeron a partir de los resultados de análisis dinámicos no lineales de modelos de cada clase de edificación (Calvi *et al.*, 2006).

Los métodos basados en mecanismos de colapso son otro tipo de metodologías analíticas, éstos usan factores de carga o de colapso (*collapse multiplier*), los cuales se calculan con conceptos de mecánica estructural, y a través de los cuales se pretende comprobar si un mecanismo de falla puede formarse o si el daño ocurrirá. Este tipo de procedimientos se ha usado para analizar estructuras de mampostería. Bernardini *et al.* (1990) desarrolló la metodología llamada VULNUS para estructuras de mampostería no reforzada, la cual se basa en la evaluación de las características mecánicas y geométricas de cada edificio que posteriormente son combinadas con la evaluación de otros factores que controlan la respuesta de la estructura y que se manejan mediante juicios cualitativos. El procedimiento usa la teoría de lógica difusa (*fuzzy-set theory*) y la definición de factores de colapso. Esta metodología tiene el inconveniente de que ha sido calibrada solamente para tipologías de edificios en Italia (Consortio Microzonificación 2006, 2007).

El procedimiento llamado FaMIVE desarrollado por D'Ayala y Speranza (2002), es otro método basado en el cálculo de factores de colapso, el cual evalúa la vulnerabilidad de edificios históricos en centros urbanos y se basa en principios de mecánica estructural. FaMIVE a través del uso de un conjunto de reglas predefinidas, identifica el mecanismo de colapso más probable para lo cual se evalúa un factor de colapso mediante un proceso estático equivalente. Este factor es sometido a varias modificaciones, lo cual lleva a la definición de un valor de vulnerabilidad relativo. Esta metodología no presenta una indicación clara de la manera en que el índice de vulnerabilidad calculado se pueda comparar con la vulnerabilidad sísmica, y no se tiene en cuenta el efecto de las incertidumbres que existen necesariamente en la capacidad estructural, la respuesta dinámica y la demanda sísmica (Consortio Microzonificación 2006, 2007).

Dentro de las metodologías basadas en espectros de capacidad se encuentra la metodología HAZUS (Hazard US), la cual es un resultado del proyecto manejado por el Instituto Nacional de Ciencia de la Construcción (NIBS). HAZUS fue desarrollada por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos – FEMA (1999) y maneja tres conceptos fundamentales: punto de desempeño o diseño, curva de capacidad

y curva de fragilidad. El punto de desempeño se encuentra intersectando el espectro de demanda de desplazamiento y aceleración para un escenario sísmico particular, y el espectro de capacidad (obtenido mediante un análisis estático de tipo Pushover) que representa el desplazamiento horizontal de la estructura bajo el incremento de la carga lateral. La curva de capacidad es controlada por la capacidad de fluencia, la fuerza resistente y la capacidad última. Las curvas de fragilidad representan la función de distribución acumulada de la probabilidad de alcanzar o sobrepasar un estado límite de daño específico, para una respuesta máxima debida a cierto nivel de demanda sísmica. Esta Metodología presenta una dificultad en su aplicación ya que las curvas de capacidad típicas que están en la base de datos del programa, son estrictamente válidas para tipologías de edificios usadas en los Estados Unidos y por lo tanto, requieren ser calibradas o modificadas en caso de ser usadas en otro tipo de entornos (Consortio Microzonificación 2006, 2007; Calvi *et al.*, 2006).

Las metodologías basadas en desplazamientos hacen parte de igual forma de los métodos analíticos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras. Calvi (1999) fue el primero en dar pasos en este tipo de procedimientos, donde él desplazamiento se usa como el indicador principal de daño y una representación espectral de la demanda sísmica. Este procedimiento utiliza principios del método del diseño basado en desplazamientos donde un sistema de varios grados de libertad se modela como un sistema de un grado de libertad y diferentes perfiles de desplazamiento se tienen en cuenta de acuerdo a el mecanismo de falla o a el perfil de desplazamiento para un estado límite dado, usando la geometría y las propiedades de las estructuras dentro de una clase o tipología estructural. Calvi (1999) consideró la variabilidad inherente en las propiedades estructurales dentro de un ambiente urbano, asignando valores máximos y mínimos a las variables, y asumiendo una función de distribución de probabilidad uniforme. La metodología propuesta por Calvi (1999) ha sido desarrollada posteriormente por Pinho *et al.* (2002) y Crowley *et al.* (2004, 2006), lo que llevó al desarrollo de la metodología: Evaluación Sísmica de Perdidas Basado en Desplazamientos (DBELA). En forma paralela, para estructuras de mampostería no reforzada, un gran desarrollo se llevó a cabo por Restrepo-Vélez y Magenes (2004), Restrepo-Vélez (2005) y Modena *et al.* (2005), lo que condujo al desarrollo del procedimiento MeBaSe (Procedimiento para la estimación del riesgo sísmico de edificios de mampostería).

2.4 TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIONES EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN

El estudio de Microzonificación y Evaluación del Riesgo Sísmico del Valle de Aburrá (Consortio Microzonificación 2006, 2007) realizó un inventario de construcciones en función de variables como: uso, sistema estructural, sistema de cubierta, edad de la construcción, estrato socioeconómico y pendiente del terreno, para lo cual llevo a cabo una zonificación de los municipios que hacen parte del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, de acuerdo al tipo estructural predominante (en cuanto al número de pisos). La Tabla 2.3 presenta las zonas definidas para los análisis de vulnerabilidad realizados por el Consortio Microzonificación 2006 (2007).

De acuerdo a el Consortio Microzonificación 2006 (2007), un 85% de las edificaciones de 1 a 5 niveles de la Ciudad de Medellín, corresponden a edificios con un sistema estructural de mampostería no reforzada y aproximadamente un 8% de las edificaciones corresponden a pórticos de concreto reforzado, lo cual indica que los dos tipos de construcción más comunes de Medellín corresponden a los sistemas de mampostería no reforzada y pórticos de concreto reforzado. La Figura 2.6 presenta las distribuciones de la variable (sistema estructural) para las zonas 1 y 2 en la ciudad de Medellín.

Tabla 2.3 Zonas definidas para los análisis de vulnerabilidad (Consortio Microzonificación 2006, 2007)

Zona	Tipo estructural
Zona 1	Predominante edificaciones de 1 a 2 niveles
Zona 2	Predominante edificaciones de 3 a 5 niveles
Zona 3A	Predominante edificaciones de 6 a 10 niveles
Zona 3B	Predominante edificaciones de 11 a 15 niveles
Zona 3C	Predominante edificaciones de 16 niveles en adelante
Zona 4	Zonas verdes
Zona 5	Zonas deportivas y/o recreativas /espacios abiertos
Zona 6A	Bodegas
Zona 6B	Oficinas
Zona 6C	Torres industriales
Zona 7	Zonas Heterogéneas, mezcla de zonas

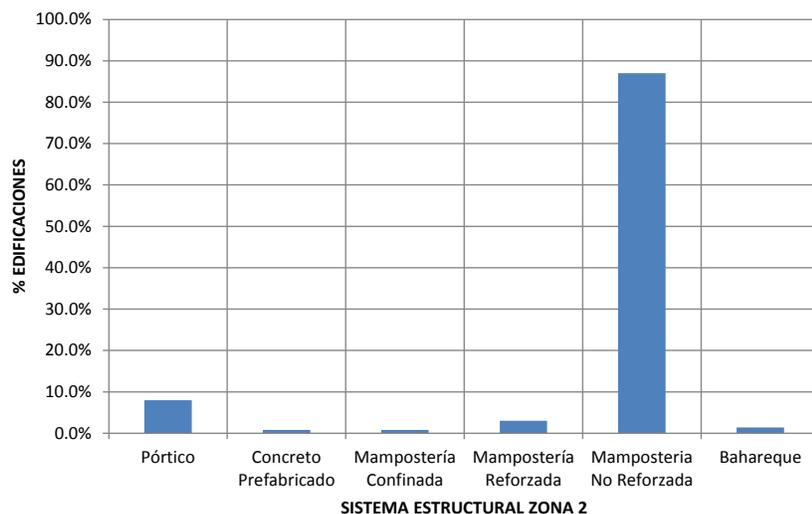
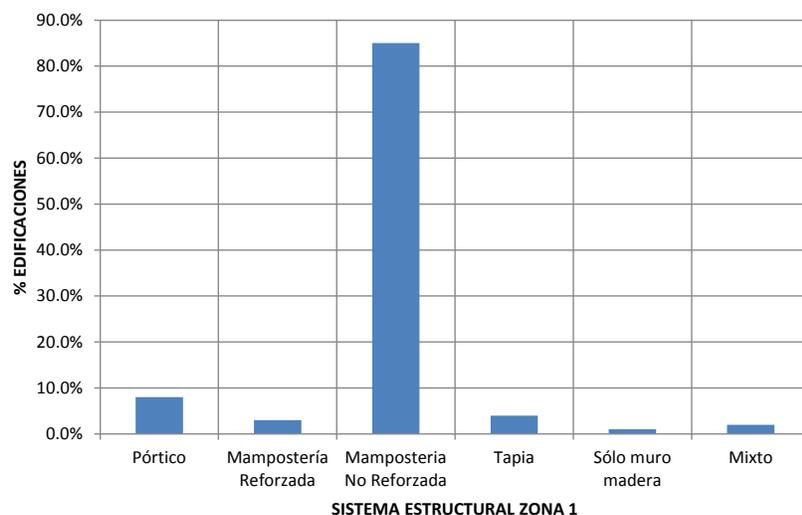


Figura 2.6 Distribución del sistema estructural en las zonas 1 y 2 del municipio de Medellín (adaptada de Consorcio Microzonificación 2006, 2007)

Las construcciones que generalmente se encuentran en áreas donde se ha construido sin normas sismo resistentes en esta ciudad son: pórticos de concreto reforzado sin conceptos de ingeniería con muros de mampostería y estructuras de mampostería confinada o no confinada que en la mayoría de los casos no tienen refuerzo.

Las estructuras menos vulnerables son todas aquellas que se diseñan y construyen de acuerdo a las normas sismo resistentes que se han desarrollado para el país (AIS, 1984b; AIS, 1998 y AIS, 2010). Los pórticos de concreto reforzado con muros son estructuras que resisten cargas gravitacionales y tienen un buen comportamiento ante fuerzas sísmicas.

Los muros de mampostería se usan como divisiones pero no se diseñan para soportar cargas laterales; aun así, los muros aumentan de manera importante la rigidez y la capacidad de la estructura para resistir dichas cargas. En las estructuras que se diseñan para que los muros resistan toda la carga sísmica, los muros deben ser confinados y/o reforzados; el confinamiento lo proporcionan columnas y vigas de borde de concreto reforzado. Los muros de mampostería reforzada generalmente contemplan barras de acero embebidas en juntas de mortero (refuerzo horizontal) y en celdas rellenas con mortero (refuerzo longitudinal). En todos los casos, los muros que resisten las cargas laterales deben ser continuos en altura.

El proyecto *World Housing Encyclopedia* encabezado por: Earthquake Engineering Research Institute (EERI) y la International Association for Earthquake Engineering (IAEE), se ha encargado de recolectar información acerca del tipo de edificaciones que se construye en varios países del mundo, incluido Colombia. Los informes que son presentados por estas instituciones generalmente hablan de un tipo de sistema estructural comúnmente usado en un país. Dentro de los informes presentados se encuentran las dos tipologías de construcción que por lo general son las más usadas en áreas donde se ha construido sin normas sismo resistentes en la ciudad de Medellín: pórticos de concreto reforzado sin normas sismo resistentes y estructuras de mampostería no reforzada. Ambos informes fueron escritos por Mejía *et al.* (2002a y 2002b).

Los pórticos sin normas ingenieriles son bastante vulnerables a efectos sísmicos, debido a la limitada cantidad de refuerzo transversal (estribos), especialmente en las columnas. Este sistema estructural es muy flexible cuando se encuentra sometido a fuerzas sísmicas. La calidad de los materiales y la mano de obra es bastante deficiente. En muchos casos, los edificios de este tipo se construyen en un terreno muy escarpado y donde las condiciones del suelo son por lo general, malas.

La mampostería no reforzada es un sistema estructural que está compuesto por unidades de ladrillos de arcilla o concreto que se encuentran unidos mediante un mortero de pega (cemento y arena). La mampostería no reforzada es un sistema estructural muy vulnerable a los efectos sísmicos debido a su comportamiento frágil. Se ha demostrado un bajo desempeño sísmico en los sismos importantes ocurridos en Colombia. La Figura 2.7 presenta un ejemplo de las edificaciones descritas anteriormente.



Pórtico de concreto reforzado



Mampostería no reforzada

Figura 2.7 Edificaciones típicas (Mejía et al., 2002a y 2002b)

Una evaluación de la vulnerabilidad sísmica de estas estructuras (pórticos de concreto reforzado sin conceptos de ingeniería y mampostería no reforzada en zonas de bajos recursos y áreas donde se ha construido sin normas sismo resistentes y/o con malas prácticas de construcción), es necesaria y urgente, ya que son susceptibles a daños en caso de la ocurrencia de un sismo; adicionalmente estas edificaciones constituyen un porcentaje alto de las estructuras actuales del país.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras construidas sin conceptos de ingeniería en la ciudad de Medellín, proporcionaría información sobre la magnitud de las pérdidas que un sismo puede causar, y de este modo, permitiría a las autoridades de gestión del riesgo generar planes de acción que reduzcan el riesgo sísmico.

3. MÉTODO DEL ÍNDICE PRIORITARIO (HASSAN Y SÖZEN, 1997)

El método del índice prioritario de Hassan y Sözen (1997) fue propuesto para estructuras aporricadas de concreto reforzado de baja altura con un bajo nivel de detallamiento del refuerzo y con la mayoría de muros de mampostería. El índice prioritario se calcula a través de parámetros sencillos que pueden ser obtenidos rápidamente en inspecciones de campo como dimensiones de elementos estructurales y áreas de piso. Este procedimiento permite realizar una clasificación de un grupo numeroso de estructuras, identificando cuales edificaciones tienen una mayor prioridad (en términos de menor capacidad sísmica) y deberían ser atendidas en primer lugar realizándoles un estudio de vulnerabilidad sísmica detallado.

El método del índice prioritario ha sido aplicado después de la ocurrencia de cinco sismos en diferentes lugares (Erzincan 1992, Duzce 1999, Bingöl 2003, Wenchuan 2008, Haití 2010), con el objetivo de establecer una relación entre los índices calculados y los niveles de daño de las edificaciones. En estos sitios de estudio las estadísticas de daño corresponden solo a una parte de las edificaciones de cada lugar; las propiedades estructurales y arquitectónicas de los edificios varían de lugar a lugar así como también la demanda sísmica (Sözen, 2014). El capítulo 3.2 presenta las conclusiones de los estudios en los cuales se ha calibrado la medida del índice prioritario con las observaciones de daño de las edificaciones después de los sismos de Turquía (1999) y Haití (2010). Estos estudios lograron identificar las tendencias entre el índice prioritario y los niveles de daño de las estructuras. Los resultados de estos estudios confirman el nivel de efectividad del método del índice prioritario, y la viabilidad de su aplicación como un primer método para la clasificación de las estructuras con mayor prioridad que requieren de una mayor atención.

El método del índice prioritario no es infalible y tiene sus respectivas desventajas. Este procedimiento no identifica si existen o no columnas cortas en una edificación, la cual es una información importante ya que la presencia de columnas cortas puede generar niveles de daño severos, o el colapso de edificaciones que tengan niveles bajos de detallamiento del refuerzo. Adicionalmente, el método no identifica las buenas o malas prácticas de construcción y los niveles de detallamiento del refuerzo. Teniendo en cuenta lo anterior, es

necesario establecer criterios que permitan realizar una clasificación más objetiva de las edificaciones a partir de los resultados obtenidos con el método del índice prioritario. En el capítulo 6.3 se presentan los criterios para la clasificación de las estructuras evaluadas en esta investigación. A continuación se presenta la evolución y desarrollo del método del índice prioritario.

3.1 EVOLUCIÓN Y DESARROLLO DEL MÉTODO DEL ÍNDICE PRIORITARIO

La metodología de Hassan y Sözen (1997) fue propuesta a partir del trabajo realizado por Shiga *et al.* (1968) después de estudiar las consecuencias del sismo de Tokachi-Oki de 1968 en el norte de Japón. Shiga *et al.* (1968) clasificó las edificaciones con muros de concreto reforzado en vulnerables o no vulnerables, dependiendo del índice de área de muro (relación entre las áreas de sección transversal de muros de concreto reforzado y el área total de piso) y del esfuerzo de corte nominal de muros y columnas. Shiga *et al.* (1968) identificaron que la mayoría de los edificios sin daño o con daño ligero tenían un índice de área de muro mayor de $30 \text{ cm}^2/\text{m}^2$ (ecuación 3.2) y el esfuerzo de corte nominal no superaba 1.2 MPa (ecuación 3.1), por lo que todas las edificaciones que cumplieran con estos dos criterios clasificaban como estructuras no vulnerables (edificios sin daño o con daño ligero). Las ecuaciones 3.1 y 3.2 presentan los criterios establecidos por Shiga *et al.*, (1968), donde W representa el peso del edificio por encima de la base, $\sum A_c$ es el área total de sección transversal de columnas en el nivel inferior, $\sum A_{CRT}$ representa el área total de sección transversal de muros de concreto reforzado continuos en toda la altura del edificio en el nivel inferior en la dirección más débil y $\sum A_{PT}$ es el área total de piso por encima de la base del edificio.

$$\frac{W}{\sum A_c + \sum A_{CRT}} \leq 1.2 \text{MPa} \quad (3.1)$$

$$\frac{\sum A_{CRT}}{\sum A_{PT}} \times 100 \geq 0.3\% \quad (3.2)$$

Riddell *et al.* (1987) evaluaron el método de Shiga *et al.* (1968) de acuerdo a observaciones realizadas del sismo de Chile de 1985, concluyendo que el método no es efectivo para edificios altos y de mediana altura. Hassan y Sözen (1997) aplicaron este procedimiento

para evaluar los efectos generados por el sismo de Erzincan de 1992 sobre las edificaciones; encontraron que los resultados no eran muy efectivos y satisfactorios ya que la mayoría de los muros que se encontraron eran de mampostería simple y el elemento principal de resistencia eran las columnas. De acuerdo a estos resultados Hassan y Sözen (1997) adaptaron el método a edificios aporticados de baja altura con muros de mampostería simple caracterizados por tener detalles de refuerzo pobre (bajos niveles de ductilidad). Hassan y Sözen (1997) realizaron varias combinaciones de parámetros simples de las estructuras, seleccionando las medidas de índices que se ajustaran con mayor efectividad a la información recopilada en el inventario de daños registrado por la *Universidad Técnica del Medio Oriente (METU)* después de la ocurrencia del sismo de Erzincan en 1992.

La Figura 3.1 presenta el resultado final de las combinaciones realizadas por Hassan y Sözen (1997), donde cada eje coordenado corresponde a un índice, siendo las ordenadas el índice de muro y las abscisas el índice de columna. En la Figura 3.1, cada edificio es representado por un punto dentro de la gráfica delimitada por los índices de muro y de columna. El índice de muro es la relación entre el área transversal efectiva de muro en la dirección más débil en la base del edificio y el área total de piso por encima de la base de la estructura. El índice de columna es la relación del área transversal efectiva de columna en la base de la estructura con respecto al área de piso total por encima de la base. Se consideran áreas efectivas el 100% del área de muros de concreto reforzado, el 10% del área de muros no reforzados y el 50% del área de columnas; estos porcentajes representan el aporte de resistencia y rigidez de cada elemento estructural. La asignación de estos porcentajes se basó inicialmente en la resistencia y propiedades de rigidez inferidas del comportamiento de los materiales, y posteriormente fueron modificados con el fin de obtener un error mínimo con la información de daño del grupo de estructuras evaluadas en el estudio de Hassan y Sözen (1997). Las ecuaciones 3.3 y 3.4 corresponden a los índices de muro y de columna, donde $\sum A_C$ es el área total de sección transversal de columnas en el nivel inferior, $\sum A_{CR}$ representa el área total de sección transversal de muros de concreto reforzado en el nivel inferior en la dirección más débil, A_{NR} representa el área total de sección transversal de muros de mampostería no reforzada en el nivel inferior en la dirección más débil y $\sum A_{PT}$ es el área total de piso por encima de la base del edificio.

$$IM = \frac{\sum A_{CR} + \frac{\sum A_{NR}}{10}}{A_{PT}} \times 100 \quad (3.3)$$

$$IC = \frac{\frac{\sum A_C}{2}}{A_{PT}} \times 100 \quad (3.4)$$

$$IP = IM + IC \quad (3.5)$$

La dirección de daño presentada en la Figura 3.1 indica que entre más cerca estén las coordenadas de índices de muro y de columna con respecto al origen coordinado mayor vulnerabilidad tiene la estructura. La trayectoria de la frontera 1 fue seleccionada para contener los casos de estructuras con daño severo y colapso, y la zona entre las fronteras 1 y 2 contiene las edificaciones con daño moderado. Las trayectorias de las fronteras corresponden a valores constantes del índice prioritario definido por Hassan y Sözen (1997) en la ecuación 3.5. Para la frontera 1 el valor del índice prioritario corresponde a 0.25% y para la frontera 2 el índice prioritario es 0.5%.

Las trayectorias de las fronteras no fueron obtenidas a partir de cálculos mecánicos, éstas fueron planteadas con el objetivo de realizar una clasificación de las estructuras comparando de una forma adecuada los valores de índices de muro y de columna con los niveles de daño de las edificaciones. De acuerdo a lo anterior, estas fronteras pueden ser establecidas de cualquier forma o cualquier distancia desde el origen dependiendo de las condiciones locales del sitio de estudio, la demanda sísmica y el nivel de daño esperado. De acuerdo a los resultados obtenidos por Hassan y Sözen (1997), dos casos de estructuras con daño ligero y seis con daño moderado quedaron contenidos dentro de la frontera 1, mostrando que esta frontera no es efectiva en un cien por ciento (Sözen, 2014).

El método del índice prioritario es un procedimiento simple que no tiene en cuenta variables como los cambios en la calidad de los materiales, la altura de piso, la configuración estructural en general, secciones de elementos estructurales en pisos más altos. Con este método no es posible hacer juicios absolutos del nivel de vulnerabilidad sísmica de las estructuras; sin embargo, este método es un procedimiento que permite realizar una primera clasificación de las estructuras que pueden tener una mayor prioridad dentro de un inventario numeroso de edificaciones.

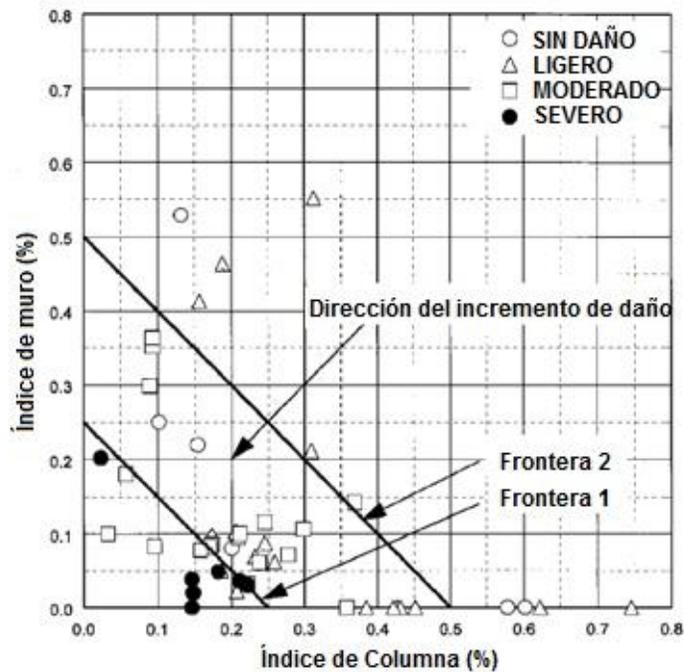


Figura 3.1 Método de evaluación propuesto (Hassan y Sözen, 1997)

El método del índice prioritario ha sido calibrado con los daños en edificaciones ocasionados por sismos en diferentes lugares y así tener la confianza de aplicar el procedimiento en otras zonas donde no ha ocurrido un evento sísmico importante. El capítulo 3.2 presenta los estudios de calibración que han sido realizados en Turquía después del sismo de 1999 (Dönmez y Pujol, 2005) y en Haití después del sismo del 2010 (O'Brien *et al.*, 2011) y se presentan algunos comentarios importantes de los estudios realizados después del sismo de Bingöl del 2003 (TUBITAK y NSF, 2003; Sözen, 2014) y el sismo de Wenchuan del 2008 (Zhou *et al.*, 2013; Sözen, 2014).

3.2 CALIBRACIÓN Y CONFIABILIDAD DEL MÉTODO

A continuación se presentan dos estudios importantes que fueron realizados teniendo en cuenta el procedimiento propuesto por Hassan y Sözen (1997) y que, finalmente, brindan confiabilidad para la aplicación del método del índice prioritario en las escuelas de Medellín. Por último se presentan algunos comentarios importantes de los estudios realizados en Bingöl y Wenchuan.

3.2.1 Evaluación del método del índice prioritario después de los sismos de Turquía en 1999

Este estudio se basó en toda la información recopilada en campo después de la ocurrencia de los sismos del 17 de agosto y 12 de noviembre de 1999, los cuales tuvieron magnitudes momento M_w de 7.4 y 7.2 respectivamente de acuerdo al U.S. Geological Survey. Esta investigación se concentró en el daño ocurrido en las ciudades de Duzce, Kaynasli y Bolu. El método del índice prioritario fue aplicado a 181 edificios, para lo cual fue necesario recopilar la siguiente información en el trabajo de campo: índice de daño, número de pisos, secciones transversales de muros, columnas y áreas de piso.

Dönmez y Pujol (2005) exponen que la mayoría de las estructuras en zonas urbanas con amenaza sísmica en Turquía no se encuentran preparadas para afrontar estos eventos sísmicos. Las edificaciones que generalmente se construyen en este país se realizan sin ningún tipo de control ni planeación ingenieril. Dönmez y Pujol (2005) hacen énfasis en que las entidades gubernamentales están en la necesidad de obtener herramientas que les permitan evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras y, posteriormente, plantear planes de acción para la prevención ante la ocurrencia de movimientos fuertes del terreno. El escenario sísmico causado por los eventos telúricos ocurridos en Turquía permite calibrar métodos que han sido propuestos para estimar una medida de la vulnerabilidad sísmica de las estructuras a partir de la recopilación de información de daño de las edificaciones. De esta forma, el método del índice prioritario de Hassan y Sözen (1997) fue aplicado y, a continuación, se presentan las conclusiones del trabajo de investigación.

De acuerdo a las prácticas de construcción y las fallas observadas, el estudio concluye que las estructuras de concreto reforzado en la zona de estudio no fueron capaces de alcanzar desplazamientos inelásticos antes de llegar a la falla. Las edificaciones lograron mantenerse en pie gracias a la resistencia de corte basal.

El trabajo realizado por Dönmez y Pujol (2005) encontró que el índice prioritario promedio decrece al aumentar el número de pisos, ocasionando una mayor vulnerabilidad para las edificaciones más altas. La Figura 3.2 presenta la relación entre el índice prioritario y el número de pisos de las edificaciones evaluadas en Turquía. El daño observado es mayor para estructuras más altas y por consiguiente para edificaciones con un índice prioritario menor. La Figura 3.3 presenta la relación entre el número de pisos, el índice prioritario y el porcentaje de edificios con daño severo o colapso. La disminución del índice prioritario para

estructuras más altas indica que en promedio las áreas de las secciones transversales de los elementos estructurales permanecen aproximadamente constantes para edificios de diferente altura.

Al emplear las fronteras propuestas por Hassan y Sözen se encontró que cinco colapsos fueron identificados por la frontera 1 propuesta por Hassan y Sözen (1997), 30 estructuras de un total de 125 edificaciones identificadas sin daño o con daño ligero quedaron ubicadas dentro de la zona delimitada por la frontera 1, lo que equivale aproximadamente a un 25% del total. Un total de 21 edificios de 40 identificados con daño moderado, también fueron identificados como vulnerables ya que quedaron contenidos por la frontera 1. El método del índice prioritario identificó para este estudio 2/3 de los edificios con daño severo, por lo que un total de 36 edificaciones de 55 fueron correctamente identificadas a través de este procedimiento (Sözen, 2014).

De acuerdo a los resultados obtenidos por el estudio realizado en Turquía por Dönmez y Pujol (2005), se concluye que los índices prioritarios mostraron de forma correcta las edificaciones con mayor vulnerabilidad teniendo en cuenta los daños observados en las estructuras, identificando mayor cantidad de edificios con daño severo para rangos de índices prioritarios más bajos. El método del índice prioritario no es infalible, las fronteras establecidas por Hassan y Sözen (1997) no son efectivas en un cien por ciento, pero es un procedimiento que es capaz de identificar las estructuras más vulnerables ante la ocurrencia de un sismo, lo cual hace de este método un procedimiento confiable para realizar una primera clasificación de un inventario de estructuras e identificar las edificaciones con mayor prioridad y que deberían ser analizadas con mayor detalle.

3.2.2 Evaluación del método del índice prioritario después del sismo de Haití en el 2010

Después del sismo del 12 de enero del 2010, el cual tuvo una magnitud momento M_w de 7.0 de acuerdo al U.S. Geological Survey, un grupo de profesionales y estudiantes de ingeniería civil visitaron Haití con el objetivo de evaluar el índice prioritario propuesto por Hassan y Sözen (1997) y, de esta forma, obtener una medida de la vulnerabilidad sísmica de los edificios a través de este método. El sismo del 12 de enero del 2010 fue un sismo devastador, el cual causó la muerte de miles de personas y generó una gran pérdida económica (USGS, 2010b; USGS, 2010c; O'Brien *et al.*, 2011).

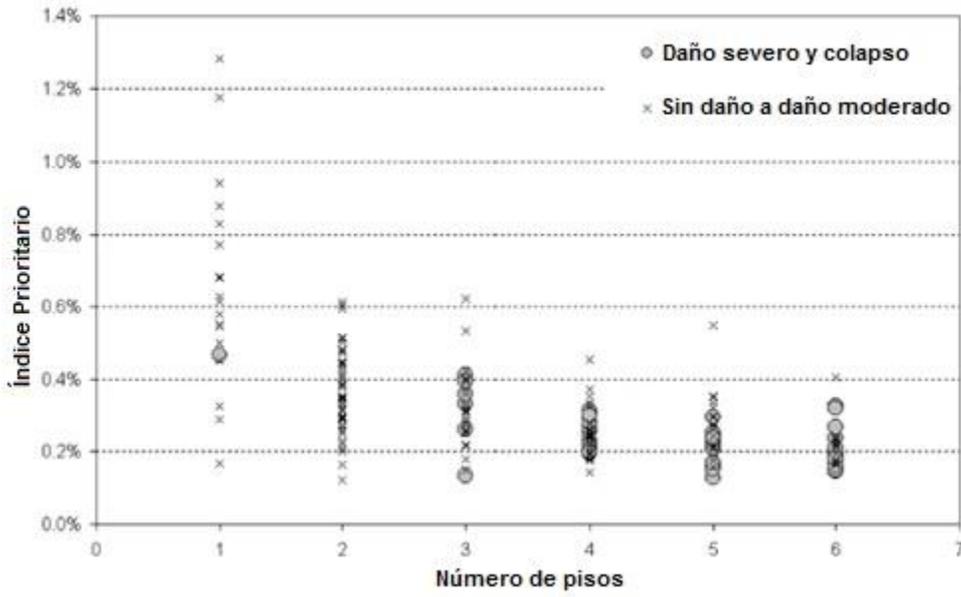


Figura 3.2 Índice prioritario y número de pisos (Dönmez y Pujol, 2005)

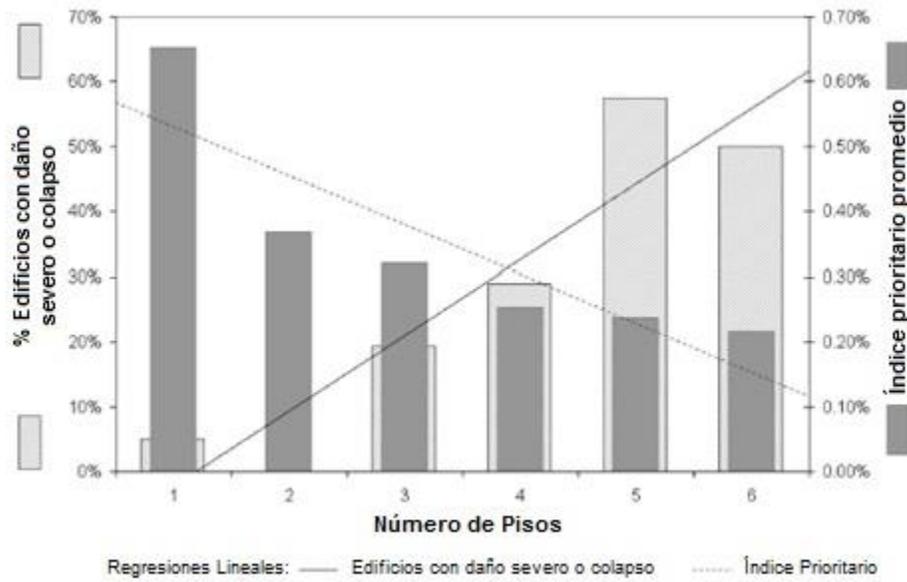


Figura 3.3 Tendencias generales de estructuras dañadas severamente o colapsadas y el índice prioritario promedio (Dönmez y Pujol, 2005)

Un grupo de 170 edificios de concreto reforzado con muros de bloque de concreto fueron evaluados en Port-au-Prince y Léogâne, Haití. Los índices prioritarios definidos por Hassan y Sözen (1997) (los cuales son relaciones de áreas efectivas de secciones transversales de columnas y muros con respecto al área total de piso de la edificación), fueron calculados de igual forma como fue realizado en Turquía, recopilando información en campo, es decir, las propiedades básicas de los elementos estructurales y los niveles de daño. Los resultados del estudio realizado por O'Brien *et al.* (2011) en Haití fueron comparados con el estudio realizado por Dönmez y Pujol (2005) en Turquía después de los sismos de 1999 cerca de la ciudad de Duzce.

La información que fue reunida en los trabajos de campo en Haití permitió evaluar que tan sensible era el índice prioritario con respecto a las prácticas de construcción del lugar y a las propiedades del material. Existen varias diferencias entre las construcciones de Haití y Turquía: las cubiertas metálicas corrugadas que no son comunes en Turquía son usadas en Haití en algunas estructuras de un nivel, reduciendo el peso de la estructura; el 73% de las estructuras en Haití son estructuras de un solo nivel, mientras que en Turquía, los edificios tienden a ser más altos; los muros de mampostería no reforzada se construyen en Haití con unidades de bloque de concreto, mientras que en Turquía se construyen con ladrillos de arcilla.

O'Brien *et al.* (2011) encontraron al aplicar el método del índice prioritario de Hasan y Sözen (1997) en Haití un índice prioritario promedio calculado para el conjunto de edificaciones evaluadas de 0.24%. Este valor es mucho menor que el valor de 0.4% establecido por Dönmez y Pujol (2005 como indicador de alta prioridad, es decir, valores inferiores de índice prioritario indican que la estructura es de alta prioridad. Menos del 10% de las estructuras evaluadas en Haití tenían un índice prioritario mayor de 0.4%, siendo la mayor contribución del índice prioritario correspondiente al índice de columna. El índice promedio de muro para las estructuras evaluadas fue de 0.05, el cual es un cuarto del índice prioritario promedio.

La Tabla 3.1 presenta el resumen de daño de los elementos de concreto reforzado y los muros de mampostería en relación con el cálculo de sus índices prioritarios. De acuerdo a la información resumida en la Tabla 3.1, el 41% de los edificios evaluados sufrieron daño severo en los elementos de concreto reforzado y un 56% de los edificios sufrieron daño

severo en los muros de mampostería. Todas aquellas edificaciones con índices prioritarios mayores que el límite de 0.4% establecido por Dönmez y Pujol sufrieron menor daño que aquellas con índices menores. El 19% de las estructuras con un índice prioritario mayor de 0.4%, presentó daño severo en los elementos de concreto reforzado, mientras que el 43% de las estructuras con índices prioritarios menores que 0.4% mostraron daño severo en los elementos de concreto reforzado. Por otro lado, el 33% de las estructuras con índices mayores de 0.4% presentaron daño severo en muros de mampostería, mientras que el 59% de las estructuras con índices por debajo de 0.4% presentaron daño severo en los muros de mampostería. Los resultados muestran una tendencia entre el nivel de daño severo y los índices prioritarios: a menor valor del índice prioritario mayor el porcentaje de estructuras evaluadas que presentan daño severo. Para índices prioritarios entre 0.00 y 0.09, los porcentajes de edificaciones con daño severo en los elementos de concreto reforzado y muros de mampostería fueron del 58% y 77% respectivamente.

La tendencia tiende a disminuir los porcentajes de las edificaciones con daño severo a medida que el índice prioritario va aumentando. Para índices prioritarios mayores de 0.4%, el porcentaje de edificaciones con daño severo en los elementos de concreto reforzado y muros de mampostería fue del 19% y 33% respectivamente. La Figura 3.4 presenta el porcentaje de edificios dañados severamente con respecto a los índices prioritarios, los números que aparecen en la figura dentro del paréntesis corresponden al número total de edificaciones dentro de cada rango de índices prioritarios.

Tabla 3.1 Resumen daño evaluado (O'Brien *et al.*, 2011)

Índice Prioritario (%)	Daño de elementos estructurales verticales de concreto reforzado				Daño en muros de mampostería			
	Total	Daño Ligero	Daño Moderado	Daño Severo	Total	Daño Ligero	Daño Moderado	Daño Severo
0.00-0.09	12	5	0	7	13	1	2	10
0.10-0.19	67	28	8	31	68	18	6	44
0.20-0.29	45	19	9	17	46	14	9	23
0.30-0.39	25	13	3	9	25	11	2	12
>=0.40	16	7	6	3	15	5	5	5
Total	165	72	26	67	167	49	24	94

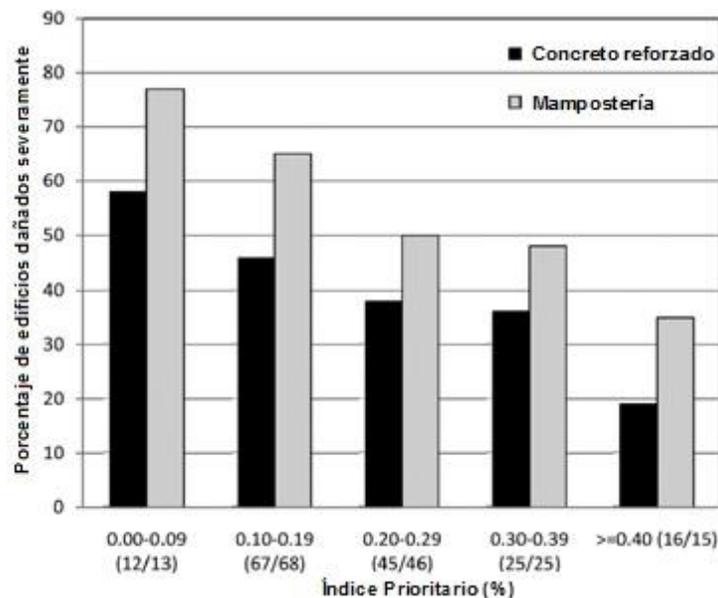


Figura 3.4 Porcentaje de edificios dañados severamente – Índice prioritario (O'Brien *et al.*, 2011)

O'Brien *et al.* (2011) evaluaron adicionalmente la sensibilidad del índice prioritario con respecto a parámetros que pudieron haber aumentado la cantidad de estructuras reportadas con daño severo. El índice prioritario mostró ser insensible a la ubicación de los edificios inspeccionados que se localizaban en el área de Port-au-Prince y el área de Léogâne, lugares que se encuentran ubicados a diferentes distancias de la fuente sísmica. Los pesos y/o porcentajes de las áreas de muros y columnas en el cálculo del índice prioritario fueron variados para tener en cuenta la diferencia en resistencia entre los muros de mampostería de Haití y Turquía debido a los tipos de material usados en cada región. Los resultados indicaron que las posibles diferencias entre los materiales usados en Turquía y Haití no son críticas y no afectan de manera considerable los índices prioritarios de las estructuras evaluadas. El índice prioritario no mostró sensibilidad ante las posibles diferencias en las prácticas desempeñadas en campo por cada equipo de inspección.

Por otra parte, el índice prioritario se vio afectado por la presencia de columnas cortas (columnas parcialmente restringidas a desplazamientos laterales por muros discontinuos). Para un rango entre 0.00% y 0.19%, el 58% de los edificios con columnas cortas sufrieron daño severo en elementos de concreto reforzado, mientras que para este mismo rango, el 23% de los edificios sin columnas cortas sufrieron daños en elementos de concreto reforzado. Para estructuras con índices prioritarios mayores de 0.2% las columnas cortas no afectaron demasiado su comportamiento estructural, quizás porque eran estructuras

más rígidas y probablemente se deformaron menos durante el sismo. La Figura 3.5 presenta la variación del porcentaje de estructuras severamente dañadas con respecto a la presencia de columnas cortas y al índice prioritario calculado; el número de edificios en cada categoría se encuentra dentro de los paréntesis que aparecen en la figura.

O'Brien *et al.* (2011) compararon los resultados del índice prioritario de las edificaciones evaluadas en Haití con los resultados del estudio previo realizado después de los sismos ocurridos en Turquía en 1999 (Dönmez y Pujol, 2005). La comparación incluyó una evaluación cualitativa de las diferencias entre las intensidades sísmicas de cada evento. Teniendo en cuenta las intensidades de cada sismo, los efectos de distancia a la fuente sísmica y la magnitud de los sismos, finalmente, O'Brien *et al.* (2011) concluyeron que es muy poco probable que el sismo de Haití fuera más intenso que el sismo de Turquía.

La comparación entre los resultados de los estudios de Haití y Turquía mostró que el porcentaje de estructuras que presentaron daño severo en Haití fue un 50% mayor que las estructuras que fueron observadas e identificadas como edificaciones con daño severo en Turquía. Al tener en cuenta que es muy poco probable que el sismo de Haití fuera más intenso que el de Turquía, O'Brien *et al.* (2011) concluyeron que existe una probabilidad alta de que las estructuras de Haití fueran más vulnerables ante la ocurrencia de un sismo. Los índices prioritarios concuerdan con lo anteriormente descrito: en Duzce cerca del 75% de las estructuras evaluadas tenían un valor de índice prioritario menor que 0.4%, por otro lado, en Haití el 90% de las edificaciones tenían un índice prioritario menor de 0.4%.

La diferencia entre el daño presentado en las dos regiones se hace más significativa al considerar el hecho de que las estructuras en Haití son de menos pisos que en Duzce: el promedio de número de pisos de Haití es de 2.5 pisos mientras que en Duzce es de 3.5 pisos. Las estructuras frágiles altas se consideran más vulnerables que las estructuras frágiles más bajas (Dönmez y Pujol, 2005). La Figura 3.6 presenta la variación del índice prioritario con respecto al número de pisos para Haití y Duzce, indicando que para todas las alturas consideradas, el índice prioritario siempre fue de mayor magnitud en Duzce. El promedio de índice prioritario de Duzce (0.32%) fue 33% mayor que el promedio de índice prioritario de Haití (0.24%).

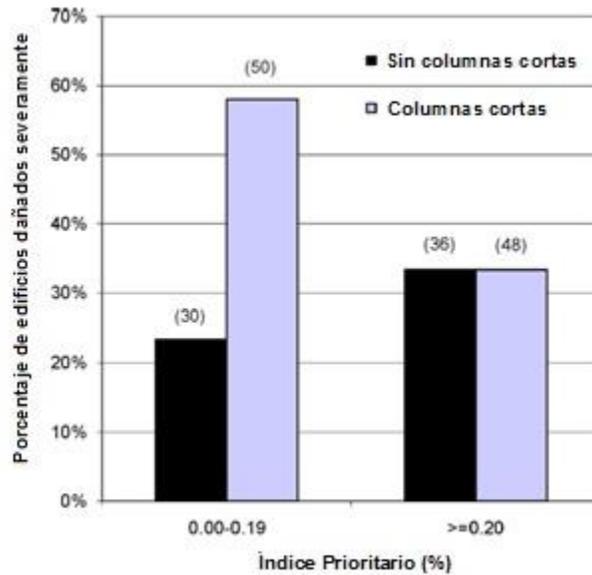


Figura 3.5 Frecuencia de daño de los edificios – Presencia de columnas cortas – Índice prioritario (O'Brien et al., 2011)

De los resultados del cálculo del índice prioritario para Haití, 43 edificaciones identificadas con daño ligero de un total de 132 quedaron contenidas dentro de la frontera 1 establecida por Hassan y Sözen (1997) para identificar las estructuras con mayor prioridad. Aproximadamente el 40% de 33 edificios con daño moderado, lo que corresponde a 13 edificaciones, quedaron dentro de la zona definida por la frontera 1. De 67 edificios con daño severo se identificaron 49 edificaciones dentro de la frontera 1, lo que equivale a 3/4 del total (Sözen, 2014).

El índice prioritario evaluado para cada una de las edificaciones en el estudio de Haití dio resultados consistentes con la observación de daños de las estructuras, mostrando ser un método adecuado para identificar las estructuras con mayor prioridad dentro de un conjunto de edificios de concreto reforzado de baja altura y construidos con bajos niveles de detallamiento del refuerzo.

La metodología del índice prioritario de Hassan y Sözen (1997) también fue aplicada después de los sismos de Wenchuan en China en el 2008 y Bingöl en Turquía en el 2003, donde se observó un comportamiento similar en la relación entre el índice prioritario y nivel de daño de las estructuras, a menor índice prioritario mayor el nivel de daño de las

estructuras. A continuación se presentan algunas conclusiones generales de los estudios realizados en Bingöl y Wenchuan.

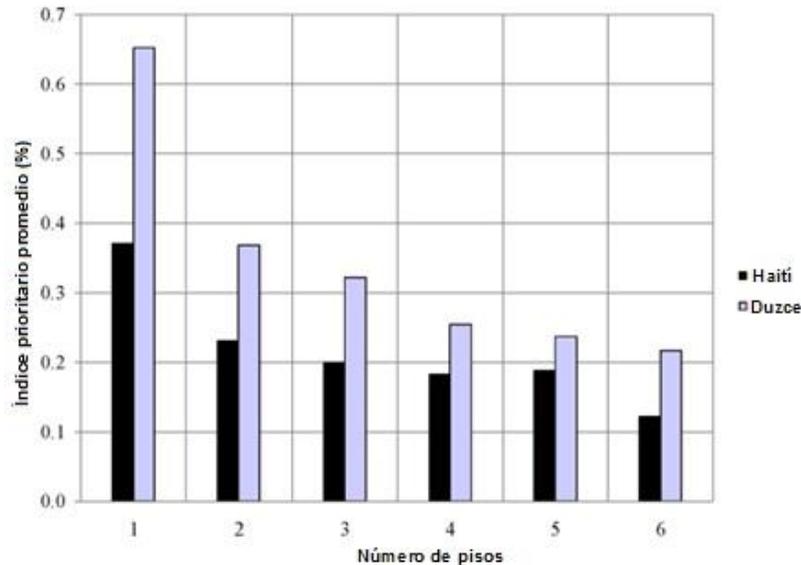


Figura 3.6 Índice prioritario y número de pisos Haití – Duzce (O'Brien *et al.*, 2011)

3.2.3 Conclusiones generales de los estudios realizados en Bingöl y Wenchuan

Los estudios realizados después de los sismos ocurridos en Bingöl (Turquía) en el 2003 y en Wenchuan (China) en el 2008 incluyeron una evaluación del daño de las estructuras y el cálculo del índice prioritario. En Bingöl se estudiaron edificaciones en algunas zonas de la ciudad y en Wenchuan se realizó el estudio a estructuras dentro de un campus universitario. Tres categorías de daño se establecieron para la clasificación de las estructuras en Bingöl para la evaluación de vigas, columnas, muros de corte y muros de mampostería: sin daño o daño ligero, moderado y fuerte o colapso (TUBITAK y NSF, 2003). En Wenchuan se establecieron cinco categorías de daño: sin daño, ligero, moderado, severo y colapso (Zhou *et al.*, 2013).

En Wenchuan, Zhou *et al.* (2013) plantearon que es interesante que edificios con la misma configuración estructural tuvieran diferentes niveles de daño y establecieron que esto puede deberse a: gran variación del movimiento fuerte del terreno en el campus universitario, las estructuras eran muy frágiles y la demanda estuvo muy cerca de la capacidad de las edificaciones (donde una pequeña variación de la demanda sísmica puede resultar en grandes variaciones de daño), finalmente la combinación de estas tres razones pudo haber

llevado a que ocurrieran diferentes niveles de daño en edificaciones con igual configuración estructural. Finalmente, Zhou *et al.* (2013) concluyeron que la correlación entre el grado de daño y el índice prioritario indica un incremento en la frecuencia de daño si el índice prioritario decrece.

En Wenchuan, Sözen (2014) identificó que todas las estructuras con daño severo se encontraron dentro de la frontera 1 establecida por Hassan y Sözen (1997) para identificar las estructuras con mayor prioridad. Dos terceras partes de los edificios reportados con daño ligero o sin daño quedaron contenidos dentro de la frontera 1.

En Bingöl, Sözen (2014), de acuerdo a los resultados de índices prioritarios de 50 estructuras y teniendo en cuenta las fronteras establecidas por Hassan y Sözen (1997), observó cinco casos de colapsos que fueron identificados por la frontera 1 pero desafortunadamente, siete casos de colapsos no fueron identificados por dicha frontera. La principal causa de colapso en Bingöl fue la presencia de columnas cortas –columnas parcialmente restringidas a desplazamientos laterales por muros discontinuos– mostrando que el método del índice prioritario no identifica la presencia de columnas cortas y, en caso tal de que se hubiera realizado un estudio de este tipo antes del sismo, la metodología no hubiera identificado estas siete estructuras colapsadas como prioritarias.

El método del índice prioritario establece un procedimiento sencillo que, a través de información que se obtiene fácilmente en campo, permite identificar las estructuras con mayor prioridad realizando una primera clasificación del inventario de estructuras en estudio. Es un método simple que no requiere de profesionales altamente experimentados, permitiendo que se entrene un grupo de personas con conocimientos básicos de ingeniería para la recolección de la información en los trabajos de campo. El procedimiento puede ser usado como primer filtro para identificar las estructuras que requieren de un análisis detallado de vulnerabilidad sísmica.

4. TRABAJO DE CAMPO

Las escuelas que fueron visitadas en el trabajo de campo para este proyecto de investigación se encuentran ubicadas en las comunas, 7 (Robledo), 10 (La Candelaria), 11 (Laureles Estadio), 12 (La América), 15 (Guayabal) y 16 (Belén), en zonas de estratos 3 y 4 principalmente, con algunas escuelas ubicadas en barrios con estrato 2. También fueron visitadas varias escuelas ubicadas en barrios y veredas de los Municipios de Itagüí y Sabaneta con estratos de 1 a 3. La Figura 4.1 presenta la ubicación de las comunas visitadas durante las inspecciones de campo. La selección de escuelas de las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta se realizó teniendo en cuenta que las instituciones educativas tuvieran al menos una edificación con un sistema aporticado de concreto reforzado (ya que el método del índice prioritario es aplicable en este tipo de estructuras). Adicionalmente, para la selección de escuelas se tuvieron en cuenta los niveles de seguridad de los lugares a visitar.

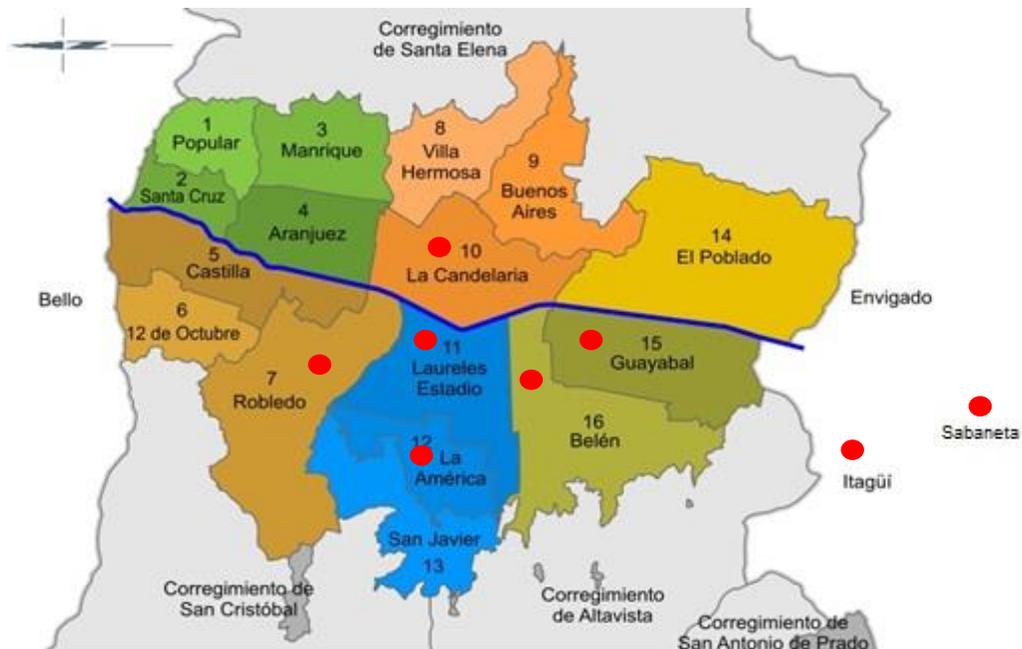


Figura 4.1 División por comunas de la ciudad de Medellín – Los puntos identifican las comunas y municipios visitados (adaptada de <http://medellintespera.blogspot.com/p/mapa-de-medellin-con-barrios-y-comunas.html>)

Para la realización de las inspecciones de campo se seleccionó y entrenó dos estudiantes de ingeniería civil, los cuales en conjunto con el estudiante de maestría (ingeniero civil - especialista en ingeniería sísmo resistente) conformaron dos equipos de trabajo.

Se elaboró un formato para la recolección de la información en campo teniendo en cuenta el formato utilizado en el estudio realizado en Haití por O'Brien *et al.* (2011), el cual se presenta en el anexo A. Cada uno de los puntos que conforman el formato de recolección de información se encuentran definidos en el anexo B del trabajo de investigación, donde se explica paso a paso los criterios básicos para realizar la evaluación estructural. Toda la información recolectada en los trabajos realizados en campo se presenta en el anexo C.

4.1 INSTITUCIONES EDUCATIVAS SELECCIONADAS

Se realizaron visitas a 33 instituciones educativas, donde tres de ellas fueron excluidas del inventario, ya que dos tenían un sistema estructural diferente a pórticos de concreto reforzado (Instituto Técnico Pascual Bravo y la Institución Educativa Rafael Uribe Uribe) y la institución educativa Concejo de Sabaneta tenía una geometría irregular (nivel sobre el terreno escalonado), lo que generaba dificultad a la hora de definir el área total de piso por encima del primer nivel y los muros que hacían parte de este nivel. Finalmente se evaluaron 30 instituciones de las cuales 22 son escuelas ubicadas en la ciudad de Medellín, 4 escuelas ubicadas en Itagüí y 4 instituciones educativas en Sabaneta.

Se analizaron un total de 82 estructuras ya que algunas instituciones educativas contaban con más de una edificación (ver Tabla 1). Las estructuras que fueron evaluadas son edificaciones aporticadas de concreto reforzado de 1 a 3 niveles, donde el 90% de las estructuras tienen de 1 a 2 niveles.

El inventario de estructuras seleccionado es un grupo de edificaciones donde algunas estructuras han sido construidas bajo la vigencia de normas de sísmo resistencia y otras no contemplan normas ingenieriles. Algunas de las edificaciones se caracterizan por tener una buena calidad de materiales y de construcción, mientras que otras reflejan el uso de materiales inadecuados y malas prácticas de construcción, por lo que se contó con un grupo de estructuras con diferentes niveles de vulnerabilidad sísmica. Un mayor detalle de las características de las edificaciones se presenta en el capítulo 5.

Tabla 4.1 Visitas de campo

# Estructura	Comuna	Estrato	Institución educativa	N° Edificaciones
1	15	4	La Salle de Campo Amor	1
2	16	3 - 4	Octavio Harry	2
3	10	3 - 4	Tulio Ospina	1
4	7	2 - 3	Instituto Técnico Pascual Bravo	0
5	11	4 - 5	Lucrecio Jaramillo	1
6	12	4	Concejo de Medellín	7
7	16	3 - 4	IU Pascual Bravo Belén	2
8	7	2 - 3	IU Pascual Bravo Robledo	3
9	12	4	Cristóbal Colon	1
10	16	2	Alcaldía de Medellín	6
11	16	2	Alcaldía de Medellín - Sección Primaria	2
12	11	5	Francisco Antonio Zea	3
13	10	2 - 3	Ana de Castrillón	2
14	11	5	Marco Fidel Suarez	9
15	12	3 - 4	Lola González	2
16	12	3	Samuel Barrientos - Sede Principal	3
17	12	3	Samuel Barrientos - Sede Monseñor	2
18	12	4	Rafael Uribe Uribe	0
19	12	4	La Piedad	3
20	16	2	República de Venezuela	2
21	16	2	San Roberto de Belarmino	1
22	15	3 - 4	Santos Ángeles Custodios	3
23	15	3 - 4	Santo Ángel	3
24	16	2	Antonio Ricaurte	1
25	Itagüí	2 - 3	Isolda Echavarría	2
26	Itagüí	1 - 3	Juan Echeverri Abad	2
27	Itagüí	2 - 3	John F. Kennedy	3
28	Itagüí	3	Pedro Estrada	2
29	Sabaneta	2 - 3	Primitivo Leal La Doctora	4
30	Sabaneta	2 - 3	Presbítero Antonio Baena Salazar	3
31	Sabaneta	2 - 3	Rafael J. Mejía	2
32	Sabaneta	3	Concejo Sabaneta	0
33	Sabaneta	1 - 2	María Auxiliadora	4
TOTAL				82

5. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN OBTENIDA EN CAMPO

Con la información obtenida en las visitas de campo se clasificaron las estructuras de acuerdo a las edades de construcción, usos de las edificaciones, cantidad de pisos y tipos de cubierta; de esta forma se realizó una descripción general de las características de las estructuras en estudio.

5.1 CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE LAS ESTRUCTURAS EN ESTUDIO

Un total de 82 estructuras (cerca de 50,815 m²) fueron evaluadas con detalle durante los trabajos de inspección en campo. Un total de 28 edificaciones (34% del total) fueron construidas antes de 1984, lo que indica que probablemente estas edificaciones no tuvieron en cuenta ninguna norma para la construcción sismo resistente, debido a que el primer código sismo resistente del país entró en vigencia en el año de 1984. 27 edificios (33% del total) fueron construidos entre 1984 y 1998 durante la vigencia del Código Colombiano de Construcciones Sismo Resistentes, CCCSR-84 (AIS, 1984b). El 32% de las edificaciones evaluadas (26 edificios) se construyeron después de 1998 bajo la vigencia del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-98 (AIS, 1998). Finalmente, 1 edificio (1% del total) fue construido después del 2010 bajo la vigencia de la norma NSR-10 (AIS, 2010). La Figura 5.1 presenta la distribución de las edificaciones de acuerdo al año de construcción.

Las estructuras de las instituciones educativas evaluadas son usadas generalmente como: aulas de clase, laboratorios de física y química, salones de música y deporte, áreas de preescolar, bibliotecas, áreas administrativas (rectoría, secretaría, salas de reunión), áreas comunes de cocina, restaurante y zona de escaleras. Las edificaciones evaluadas tienen un sistema estructural de pórticos de concreto reforzado con muros de mampostería simple en su mayoría (98% del total), el 2% restante son estructuras con muros adicionales de concreto reforzado construidas después de la norma NSR-98 (AIS, 1998). Los edificios inspeccionados tenían de 1 a 3 pisos, donde el 46% (38 de 82) de las construcciones corresponden a edificios de 2 pisos. La Figura 5.2 presenta la distribución de las estructuras evaluadas de acuerdo al número de pisos.

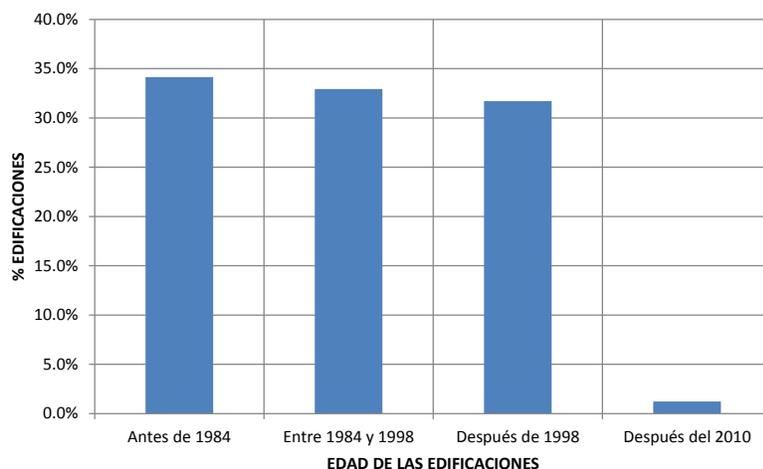


Figura 5.1 Año de construcción de las estructuras

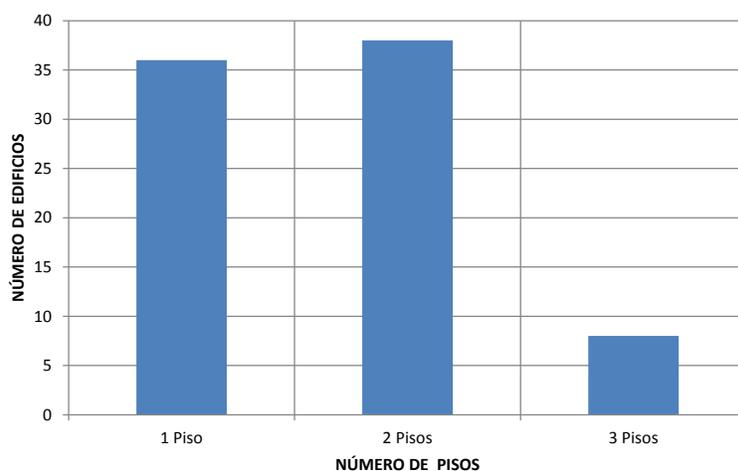


Figura 5.2 Número de pisos de las estructuras

Las cubiertas de las edificaciones evaluadas están conformadas por vigas de cubierta o vigas de remate sobre muros que reciben la carga del techo. El techo de las estructuras está compuesto por varios sistemas: estructura de madera (cerchas y/o vigas) con tejas de barro, cerchas metálicas con tejas de asbesto cemento, cubiertas metálicas (elementos metálicos y teja metálica) y losas de concreto reforzado. Dos de las edificaciones evaluadas (2.4% del total) tienen una cubierta de madera mixta con teja de asbesto cemento y posteriormente teja de barro. La Figura 5.3 presenta la distribución de las edificaciones de

acuerdo al tipo de cubierta. La cubierta de madera con teja de barro es la cubierta más usada por las estructuras en estudio, 51 de 82 estructuras (62.2% del total) tienen este tipo de cubierta.

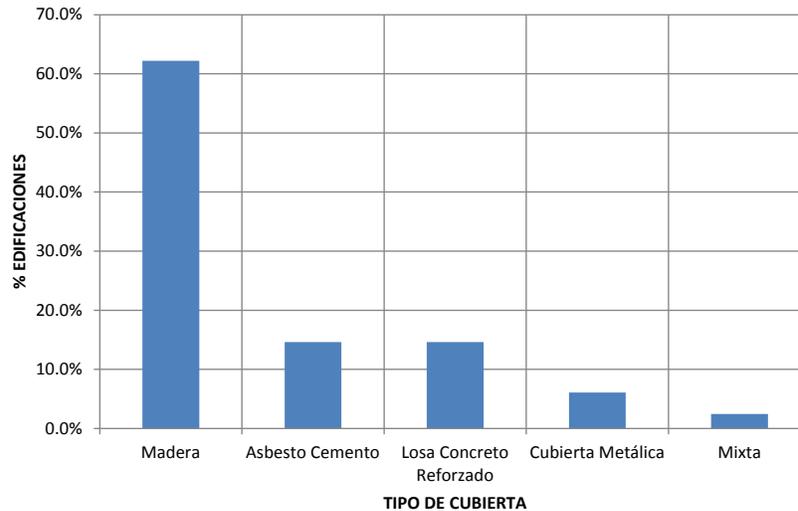
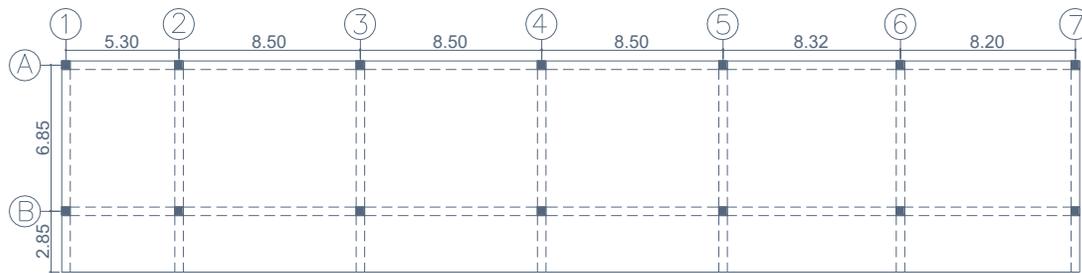
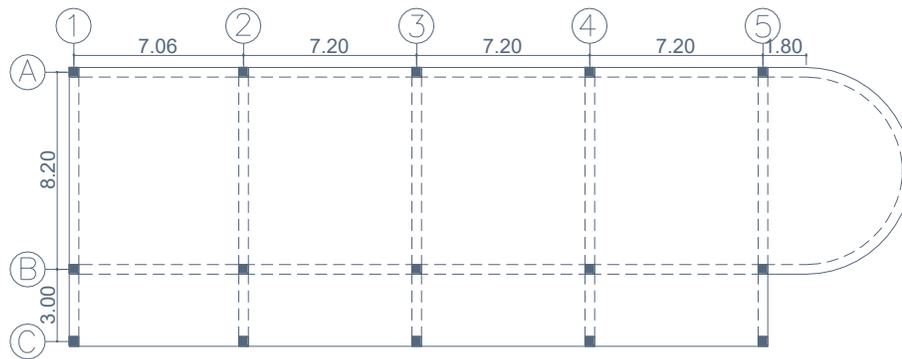


Figura 5.3 Tipo de cubierta de las estructuras

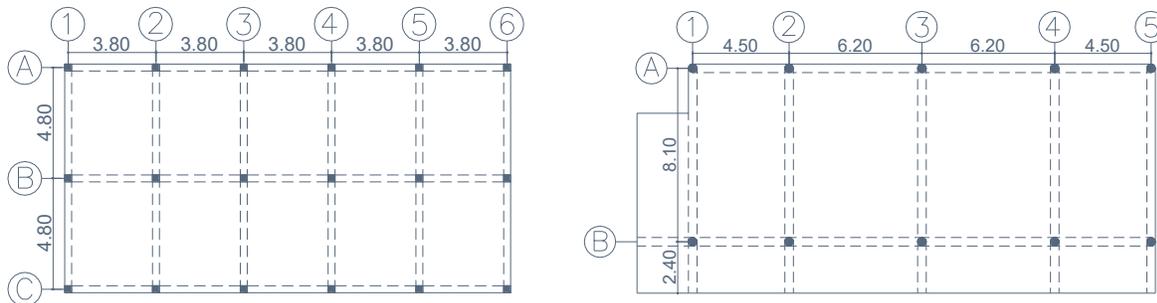
Las configuraciones estructurales típicas de las instituciones educativas tienen de dos a tres ejes en la dirección longitudinal, con y sin voladizo. Las secciones transversales de las columnas son cuadradas, rectangulares y/o circulares; en algunos de los casos se observaron estructuras que tenían columnas con secciones rectangulares y circulares. Las secciones transversales cuadradas varían de 25X25 cm a 50X50 cm. Las secciones transversales rectangulares varían de 20X40 cm a 40X80 cm y las secciones circulares varían de 40 cm a 60 cm de diámetro. Las unidades de mampostería simple corresponden en su gran mayoría a ladrillos de arcilla: 59 de 82 edificios (72% del total) tienen muros de mampostería simple con ladrillos de arcilla. El 21% de las edificaciones (17 de 82) tienen muros con ladrillos macizos de arcilla (ladrillo arquitectónico) y el 7% restante tienen muros con bloques o unidades de concreto. El espesor de las unidades de mampostería varía de 12 cm a 20 cm. La Figura 5.4 presenta plantas de piso (1er. nivel) típicas de las instituciones educativas visitadas y la Figura 5.5 presenta la distribución de las edificaciones de acuerdo al tipo de unidad de mampostería usado. Las losas de entrepiso de las edificaciones evaluadas son losas aligeradas con casetón o ladrillo (losas nervadas), con vigas principales en ambas direcciones y losas macizas con vigas principales que llevan la carga a las columnas.



Bloque continuo al bloque administrativo – 1er nivel planta libre y capilla (Concejo de Medellín)

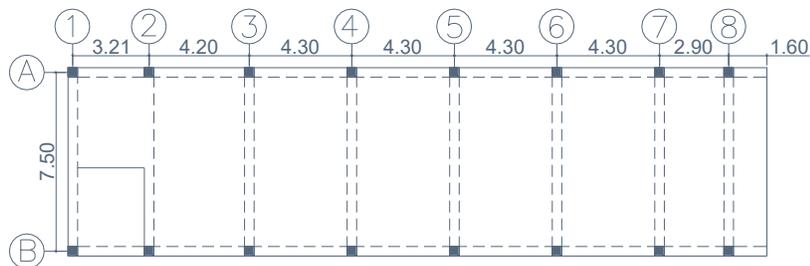


Bloque de aulas - fachada principal de la institución (Alcaldía de Medellín)



Bloque 3C (Institución Universitaria Pascual Bravo)

Bloque cafetería – biblioteca (Francisco Antonio Zea)



Bloque restaurante – aulas de clase (Samuel Barrientos Restrepo)

Figura 5.4 Plantas típicas de piso de las instituciones educativas

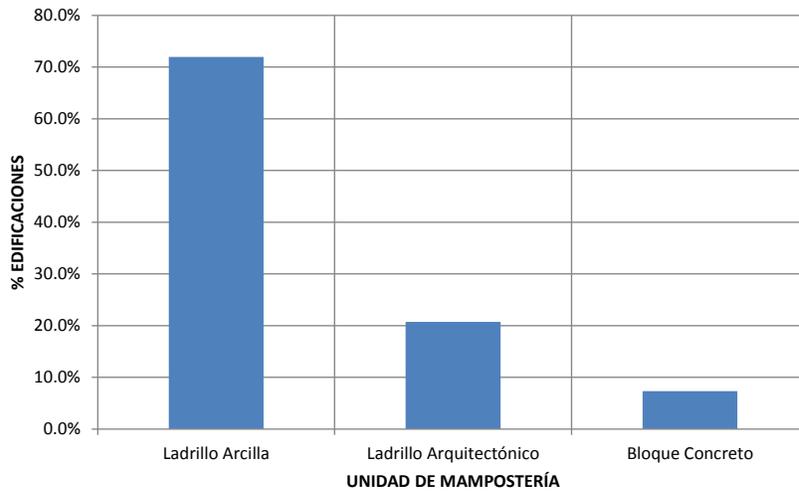


Figura 5.5 Unidades de mampostería de las estructuras

Se observó que algunas de las edificaciones evaluadas tienen configuraciones estructurales con irregularidades en planta y en altura. La Figura 5.6 y 5.7 presentan ejemplos de edificaciones con irregularidad en planta. La Figura 5.8 presenta un ejemplo de irregularidad en altura, donde el tercer piso tiene una planta diferente a los otros dos pisos.

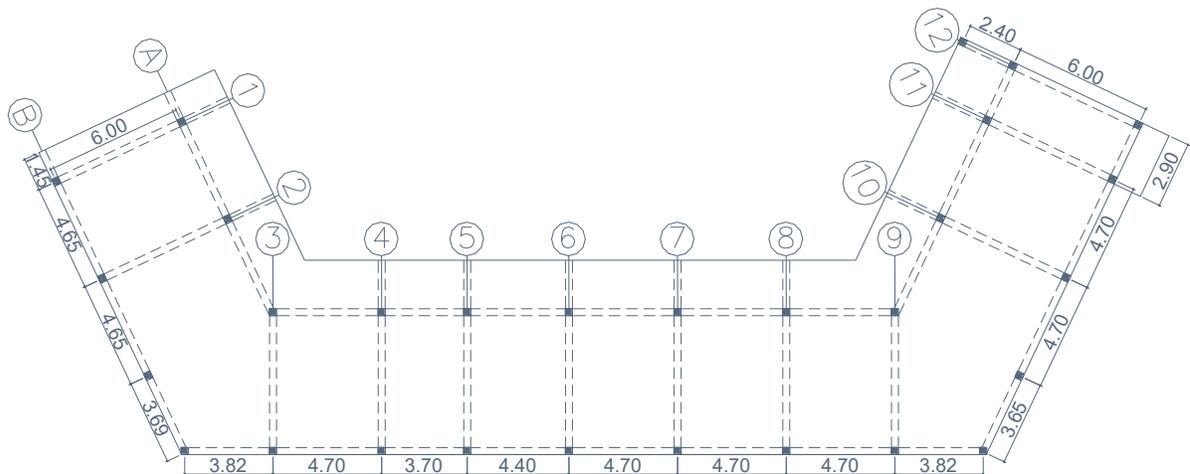


Figura 5.6 Vista en planta bloque en C – irregularidad en planta (Santos Ángeles Custodios)

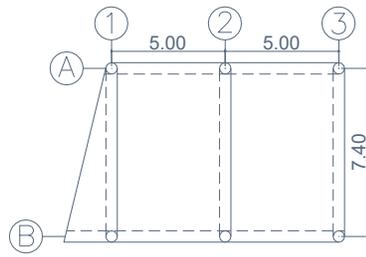
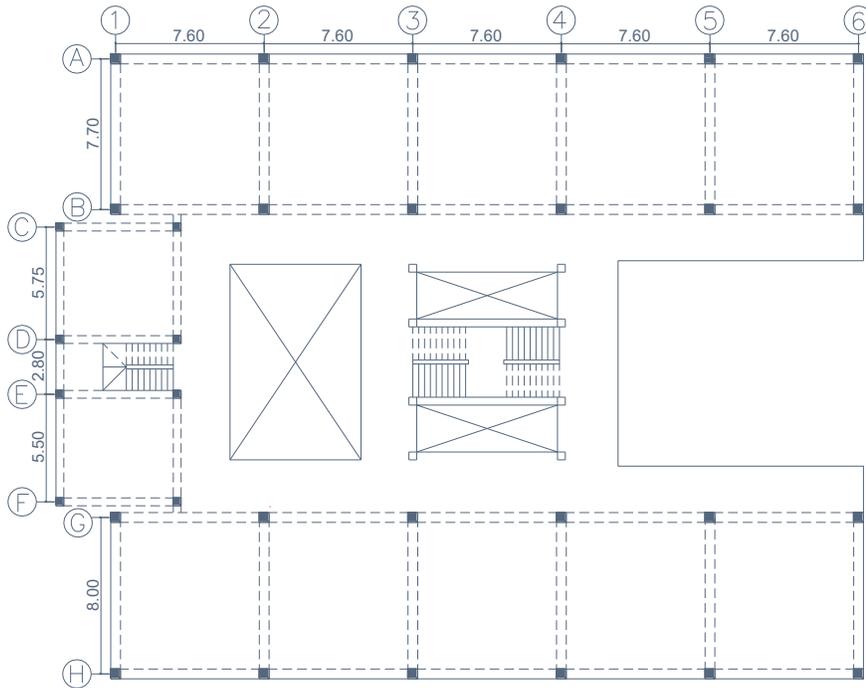
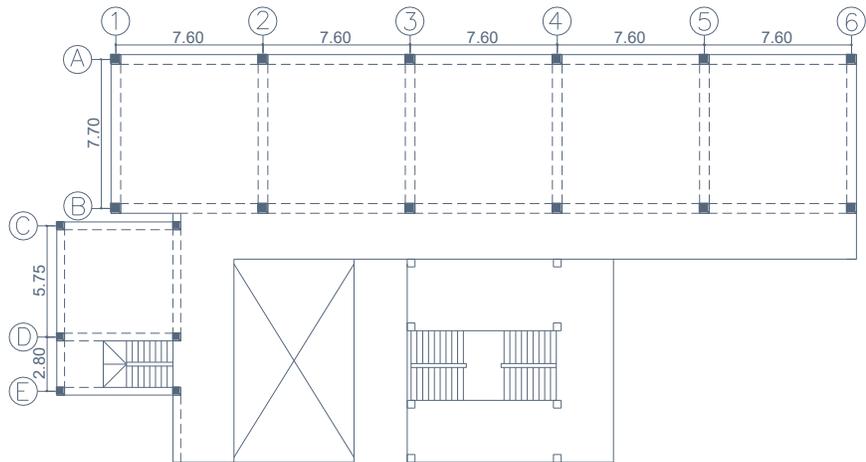


Figura 5.7 Vista en planta – bloque laboratorio de química (La Piedad)



Vista en planta bloque 5 piso 1 (Institución Universitaria Pascual Bravo)



Vista en planta bloque 5 piso 3 (Institución Universitaria Pascual Bravo)

Figura 5.8 Irregularidad en altura

Después de haber realizado la clasificación estructural de las edificaciones de acuerdo a las características típicas de las estructuras, se continuó con el cálculo de los índices prioritarios para cada una de las estructuras, con el objetivo de realizar una clasificación de los edificios de acuerdo a su nivel de prioridad. El capítulo 6 presenta los resultados de la clasificación de las estructuras evaluadas.

6. IDENTIFICACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

El método del índice prioritario de Hassan y Sözen (1997) ha sido aplicado en varios lugares después de los eventos sísmicos ocurridos en Turquía (Erzincan en 1992, Düzce en 1999, Bingöl en 2003), China (Wenchuan en 2008) y Haití (Port-au-Prince, Léogâne en 2010); sismos importantes que han generado grandes pérdidas de vidas humanas y económicas. La metodología de Hassan y Sözen (1997) fue aplicada en dichos lugares para calibrar si el método propuesto del índice prioritario es una medida de la vulnerabilidad sísmica que brinda confiabilidad para ser aplicada en otros lugares donde no ha ocurrido un evento sísmico importante. Dicha calibración tuvo en cuenta un análisis entre el índice prioritario de las estructuras evaluadas y los niveles de daño de las edificaciones causados por los diferentes eventos sísmicos. Los resultados de los estudios de calibración fueron satisfactorios, encontrando que los índices prioritarios lograron identificar un gran porcentaje de las estructuras con daño severo o colapso en el análisis de los sismos de Duzce (67%), Haití (75%) y Wenchuan (100%). En el análisis del sismo de Bingöl solo el 42% de las estructuras colapsadas fueron identificadas por el método, debido a la presencia de columnas cortas, las cuales no considera el método.

De acuerdo a lo anterior, este método brinda confiabilidad para ser aplicado en otros sitios donde no ha ocurrido un sismo importante, pero se debe tener en cuenta el efecto de las columnas cortas en el comportamiento sísmico.

La aplicación del método del índice prioritario se llevó a cabo para la identificación de las estructuras más vulnerables de un inventario de escuelas en Medellín, Itagüí y Sabaneta, teniendo en cuenta la confiabilidad que brindan los estudios donde se ha calibrado esta medida (índice prioritario). A través de este trabajo de investigación se identificaron cuales estructuras requieren de una atención en primer lugar de acuerdo a su nivel de prioridad, es decir, a cuales se les debería realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica detallado.

A continuación se presenta la relación entre la medida del índice prioritario y la amenaza sísmica del Valle de Aburrá (subregión ubicada en el centro-sur del departamento de Antioquía, Colombia. Los municipios que hacen parte del Valle de Aburrá son: Barbosa,

Girardota, Copacabana, Bello, Medellín, Envigado, Itagüí, Sabaneta, La Estrella y Caldas). Posteriormente se presentan los resultados del cálculo del índice prioritario, la clasificación de las estructuras de acuerdo a su nivel de prioridad y una estimación de daño y posibles pérdidas de las estructuras que fueron evaluadas en este proyecto.

6.1 ÍNDICE PRIORITARIO Y AMENAZA SÍSMICA DE LA CIUDAD DE MEDELLÍN

La Tabla 6.1 presenta los parámetros sísmicos (evento, magnitud y profundidad focal) y de movimiento fuerte (distancia epicentral, tipo de suelo y velocidad de onda de corte en la estación acelerográfica, y aceleración máxima del terreno) de los eventos ocurridos en Erzincan (1992), Düzce (1999), Bingöl (2003), Wenchuan (2008) y Haití (2010), lugares donde ha sido aplicado el método del índice prioritario.

Tabla 6.1 Parámetros de los eventos sísmicos - Índice prioritario

Parámetros sísmicos			Parámetros de movimiento fuerte			
Sismo	Magnitud Momento M_w	Profundidad focal (km)	Distancia epicentral (km)	Tipo de suelo	V_s Velocidad de onda de corte	PGA Aceleración máxima del terreno
Erzincan 1992	6.7 ⁽³⁾	7 ⁽¹⁾	1.1 ⁽¹⁾	Aluvión ⁽²⁾	421 m/s ⁽⁷⁾	0.51g ⁽¹⁾
Duzce 12 nov - 1999	7.2 ⁽³⁾	13 ⁽¹⁾	5.9 ⁽¹⁾	Suelo blando ⁽⁸⁾	350 m/s ⁽⁸⁾	0.51g ⁽¹⁾
Bingöl 2003	6.4 ⁽³⁾	14 ⁽¹⁾	9.1 ⁽¹⁾	Depósito Aluvial ⁽⁵⁾	Tipo C ⁽⁵⁾ 360 ≤ V_s ≤ 750 m/s Tipo D ⁽⁵⁾ 180 ≤ V_s ≤ 360 m/s	0.52g ⁽¹⁾
Wenchuan 2008	7.9 ⁽³⁾	19 ⁽¹⁾	30.0 ⁽⁶⁾	Arcilla ⁽⁶⁾	237 m/s ⁽⁹⁾	0.52g ⁽⁶⁾
Haiti 12 ene - 2010 (Port-au-Prince)	7.0 ⁽³⁾	13 ⁽¹⁾	16.4 ⁽¹⁾	Depósitos sedimentarios o aluviales ⁽⁴⁾	Tipo C ⁽⁴⁾ 360 ≤ V_s ≤ 750 m/s Tipo D ⁽⁴⁾ 180 ≤ V_s ≤ 360 m/s	0.44g ⁽¹⁾
Haiti 12 ene - 2010 (Léogâne)	7.0 ⁽³⁾	13 ⁽¹⁾	2.4 ⁽¹⁾	-	-	0.83g ⁽¹⁾

⁽¹⁾ USGS

⁽²⁾ Hassan y Sözen (1997)

⁽³⁾ Sözen (2014)

⁽⁴⁾ O'Brien *et al.* (2011)

⁽⁵⁾ TUBITAK y NSF (2003)

⁽⁶⁾ Zhou *et al.* (2013)

⁽⁷⁾ (http://www.isesd.hi.is/esd_local/cdrom/reports/SR205.htm)

⁽⁸⁾ (http://www.isesd.hi.is/esd_local/cdrom/reports/SR553.htm)

⁽⁹⁾ Ren *et al.* (2012)

Todas las aceleraciones presentadas en la Tabla 6.1, exceptuando la información del sismo de Haití (2010), fueron registradas por las estaciones acelerográficas ubicadas lo más cerca posible a las zonas de estudio donde fue evaluado el método del índice prioritario. Desafortunadamente el sismo de Haití del 2010 no fue registrado por estaciones acelerográficas.

Para el caso del sismo de Haití del 2010 se presentan los parámetros del movimiento fuerte en los dos lugares donde O'brien *et al.* (2011) hicieron trabajo de campo: Port-au-Prince y Léogâne. Debido a que no existen registros acelerográficos para dichas zonas, las aceleraciones de dichos lugares se calcularon a partir de las intensidades macrosísmicas calculadas para cada sitio de VIII y IX respectivamente (O'brien *et al.*, 2011; USGS, 2010d), y el tipo de suelo solo se identificó para Port-au-Prince y corresponde a la ubicación de las estructuras evaluadas por O'brien *et al.* (2011).

En la Tabla 6.1 se observa que la mayor velocidad de onda de corte, V_s , corresponde a 750 m/s, la cual está por debajo de la velocidad de onda de corte de una roca de perfil competente ($V_s \geq 1500$ m/s). Esto implica que todos los eventos fueron registrados en suelo.

A partir de la información presentada en la Tabla 6.1 sobre los eventos en donde se ha calibrado el método del índice prioritario, se buscó identificar si los niveles de amenaza de dichos eventos podrían ocurrir en la zona bajo estudio (Medellín, Itagüí y Sabaneta). Si los niveles de amenaza sísmica son similares implica una mayor confiabilidad en la aplicación del método del índice prioritario.

La amenaza sísmica en roca de Medellín, Itagüí y Sabaneta según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) es de 0.15 g, para un periodo de retorno de 475 años. Como se mencionó anteriormente, los valores de aceleración reportados en la Tabla 6.1 fueron registrados en suelo, por lo que dichos registros incluyen los efectos de amplificación del suelo y son valores mucho mayores que los que se registrarían en roca. Los tres municipios considerados en esta investigación fueron incluidos en el estudio de microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (Consortio Microzonificación 2006, 2007). En dicho estudio se presentan los valores de amenaza incluyendo el perfil del suelo. Las aceleraciones esperadas es superficie para un periodo de

retorno de 475 años según el estudio de microzonificación corresponden a 0.2g - 0.3g para Medellín, 0.3g - 0.6g para Itagüí y 0.3g - 0.7g para Sabaneta.

El estudio de microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (Consortio Microzonificación 2006, 2007) incluyó la desagregación de la amenaza sísmica, es decir, la identificación de los escenarios sísmicos que contribuyen en mayor parte a la amenaza. En los tres municipios bajo estudio el estudio de microzonificación encontró que los sismos entre 15 y 20 km con magnitudes momento alrededor de M_w 6.5 aportan el mayor porcentaje de la amenaza. Al comparar esta información con los parámetros sísmicos de la Tabla 6.1, se encuentra que el sismo de Bingöl tuvo una magnitud similar de M_w 6.4 y aunque la distancia epicentral es algo menor con respecto a lo establecido por el Consortio Microzonificación 2006 (2007), la aceleración registrada de 0.51 g es cercana a los niveles de aceleración esperados en superficie para las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta.

Los estudios de amenaza sísmica que han sido realizados para la elaboración de las normas de sismo resistencia en Colombia (CCCSR-84, NSR-98, NSR-10) y para la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (Consortio Microzonificación 2006, 2007), son estudios de tipo probabilístico, donde se define un nivel de amenaza para una probabilidad de excedencia en un determinado tiempo que corresponde a la vida útil media de las edificaciones (AIS, 1984b; AIS, 1998; AIS, 2010). La norma de sismo resistencia del país establece que las edificaciones de ocupación normal se deben diseñar para una probabilidad de excedencia del 10% en un lapso de tiempo equivalente a la vida útil de las estructuras (50 años), lo cual corresponde a un periodo de retorno de 475 años. Una probabilidad de excedencia del 10% en 50 años quiere decir que en los 50 años de vida útil de la estructura existe una probabilidad del 10% de que ocurra al menos un evento con un nivel de amenaza igual o mayor a lo estipulado por el estudio de amenaza sísmica. Por lo tanto, es importante tener en cuenta que el valor definido por los estudios de amenaza sísmica es un límite inferior y que es posible que ocurran sismos con valores de aceleración mayores a los de la norma.

La norma sismo resistente NSR-10 define las escuelas como estructuras indispensables, ya que son edificaciones donde una gran cantidad de menores pasan una gran cantidad de tiempo en su interior. El reglamento colombiano NSR-10 tiene en cuenta el carácter indispensable de algunas construcciones como escuelas y/o instituciones educativas

involucrando dentro del espectro elástico de diseño un coeficiente de importancia que varía de 1.0 a 1.50 de acuerdo al grupo de uso. El coeficiente de importancia de la norma sismo resistente NSR-10 es una forma indirecta –común en los códigos de diseño sismo resistente– de disminuir la probabilidad de excedencia en los 50 años de vida útil de la estructura. Las instituciones educativas clasifican en la NSR-10 dentro del grupo de uso III, al cual le corresponde un coeficiente de importancia igual a 1.25 (AIS, 2010). Al multiplicar la aceleración máxima en superficie esperada para la ciudad de Medellín (0.3g) por el coeficiente de importancia, la aceleración daría finalmente un valor de 0.38g. Esta solución que plantea la norma NSR-10 a través del coeficiente de importancia, obedece a un cálculo simple que aumenta directamente en un 25% la aceleración del terreno, sin tener en cuenta la naturaleza impredecible de los sismos a través de un análisis de tipo probabilístico. Rigurosamente debería definirse la probabilidad de excedencia requerida para las escuelas (en este caso menor del 10%), lo cual se reflejaría en un periodo de retorno mayor de 475 años, y a su vez en niveles mayores de aceleración.

En el caso de que las estructuras como escuelas se diseñaran para una probabilidad de excedencia del 5% en 50 años, el periodo de retorno sería igual a 975 años y se esperaría para las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta, aceleraciones medias en roca iguales a 0.28g, 0.31g y 0.32g, respectivamente, de acuerdo a la microzonificación sísmica del Valle de Aburrá (Consortio Microzonificación 2006, 2007). Estas aceleraciones aun no tienen en cuenta el efecto amplificador del suelo, por lo que se podrían generar aceleraciones en superficie similares o mayores a las registradas para los eventos sísmicos presentados en la Tabla 6.1.

Al tener en cuenta que las aceleraciones esperadas en superficie en las zonas en donde se encuentran ubicadas las instituciones educativas son aceleraciones que podrían ser similares o incluso mayores a las registradas en las ciudades donde ha sido calibrada la metodología de Hassan y Sözen (1997), se concluye que la metodología del índice prioritario puede aplicarse a las instituciones educativas de los municipios de Medellín, Itagüí y Sabaneta. Es importante resaltar la importancia de disminuir al máximo el riesgo que tienen los menores ya que gran parte de su tiempo lo pasan al interior de las instalaciones educativas. La ocurrencia de un evento sísmico puede llegar a ser catastrófica para una ciudad generando la muerte de miles de niños, como ocurrió a causa de los sismos en Molise en Italia en el 2002 (27 alumnos y una profesora), Wenchuan en China en

el 2008 (cerca de 7,000 estudiantes), Spitak en Armenia en 1988 (cerca de 17,000 menores), el sismo de Cachemira en Pakistán en el 2005 (18,000 estudiantes); por lo tanto, no se deberían ahorrar esfuerzos que permitan brindar un buen nivel de seguridad a los menores que habitan estas edificaciones.

6.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE PRIORITARIO

A partir de la información obtenida en campo durante las visitas realizadas a cada una de las escuelas (secciones transversales de muro, secciones transversales de columnas y áreas de piso total), se calcularon los índices de muro y de columna y posteriormente el índice prioritario propuesto por Hassan y Sözen (1997). Durante los trabajos en campo se identificó que pueden existir diferencias en la interpretación de cuales muros de mampostería simple aportan resistencia lateral al sistema estructural, y por consiguiente, se deberían tener en cuenta a la hora de realizar el cálculo del índice de muro. Con el objetivo de evaluar la sensibilidad del procedimiento propuesto por Hassan y Sözen (1997) con respecto a la selección de muros, se establecieron tres criterios para la selección de dichos muros que aportan resistencia a los sistemas estructurales evaluados. A continuación se presentan los criterios utilizados para el cálculo del índice de muro.

6.2.1 Criterio 1

Los muros (áreas de secciones transversales) que aportan al índice de muro, son únicamente los que se encuentran en su totalidad entre columnas, permitiendo que se genere una biela de compresión ante la aplicación de fuerzas laterales, ver Figura 6.1.

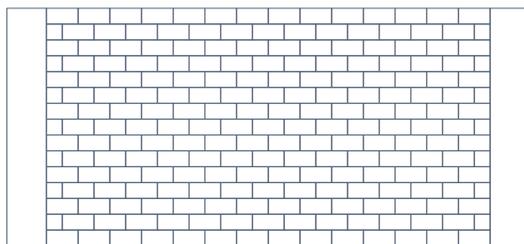


Figura 6.1 Muro criterio 1

6.2.2 Criterio 2

Los muros que aportan al índice son los mencionados en el criterio 1 y también aquellos muros entre columnas que tienen una abertura en la parte superior, con una altura máxima observada de 60 cm y una longitud igual a la del muro. Las áreas de las secciones

transversales de los muros fueron reducidas por un coeficiente de 0.7, para muros con aberturas entre 40 y 60 cm de alto, y por coeficientes de 0.8 a 0.9 para aberturas de menos de 40 cm; lo anterior con el objetivo de tener en cuenta la ausencia de muro en la parte superior entre columnas, ver Figura 6.2.

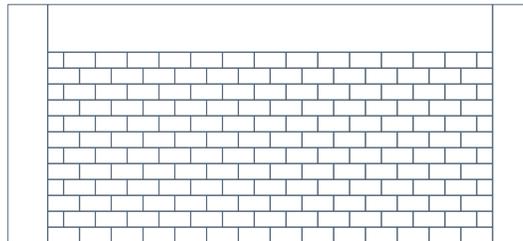
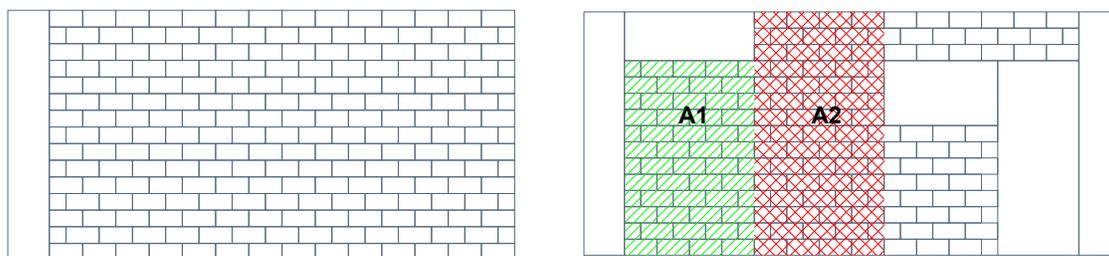


Figura 6.2 Muro criterio 2

6.2.3 Criterio 3

Los muros que aportan al índice de muro son los mencionados en los criterios anteriores y también aquellos muros que están confinados solamente en uno de sus extremos (muro A1, Figura 6.3) y secciones de muro entre aberturas (muro A2, Figura 6.3).



Muro confinado en uno de sus extremos

* Área sombreada indica el muro considerado (en este caso A1 + A2)
Muro entre aberturas

Figura 6.3 Muro criterio 3

La Tabla 6.2 presenta el resumen del cálculo de los índices prioritarios de cada una de las edificaciones evaluadas y para cada criterio establecido para el cálculo del índice de muro. Dicha tabla presenta el índice de columna, el índice de muro para cada criterio, el porcentaje de aporte del índice de muro al índice prioritario, el nivel de daño de las estructuras de acuerdo al índice prioritario calculado, en donde *SC* corresponde a daño severo o colapso, *M* es daño moderado y *L* es daño ligero o sin daño; dichas abreviaturas del nivel de daño se presentan sombreadas en la Tabla 6.2. El número de estructura presentado en la Tabla 6.2 corresponde a las instituciones educativas presentadas en la Tabla 4.1. Las edificaciones 4, 18 y 32 no se presentan en la Tabla 6.2 ya que fueron excluidas del inventario de estructuras evaluadas.

Tabla 6.2 Índices prioritarios

# Estructura	IC (%)	Criterio 1				Criterio 2				Criterio 3			
		IM (%)	IM/IP (%)	IP (%)	Nivel daño	IM (%)	IM/IP (%)	IP (%)	Nivel daño	IM (%)	IM/IP (%)	IP (%)	Nivel daño
1.1	0.06	0.00	0.0	0.06	SC	0.08	55.1	0.14	SC	0.11	64.4	0.18	SC
2.1	0.22	0.00	0.0	0.22	SC	0.03	11.2	0.25	SC	0.04	16.7	0.27	M
2.2	0.32	0.00	0.0	0.32	M	0.03	8.8	0.35	M	0.12	26.7	0.43	M
3.1	0.32	0.02	6.7	0.34	M	0.04	11.5	0.36	M	0.06	16.2	0.38	M
5.1	0.18	0.03	14.3	0.21	SC	0.03	14.9	0.21	SC	0.04	18.0	0.22	SC
6.1	0.17	0.02	9.0	0.18	SC	0.03	14.5	0.20	SC	0.06	27.3	0.23	SC
6.2	0.15	0.00	0.0	0.15	SC	0.03	14.8	0.17	SC	0.03	14.8	0.17	SC
6.3	0.09	0.03	25.2	0.13	SC	0.04	28.7	0.13	SC	0.05	35.0	0.15	SC
6.4	0.71	0.00	0.0	0.71	L	0.00	0.0	0.71	L	0.00	0.0	0.71	L
6.5	0.26	0.02	5.8	0.28	M	0.02	5.8	0.28	M	0.04	14.4	0.30	M
6.6	0.20	0.00	0.0	0.20	SC	0.00	0.0	0.20	SC	0.02	9.0	0.22	SC
6.7	0.18	0.15	45.6	0.34	M	0.16	47.1	0.35	M	0.17	48.4	0.35	M
7.1	0.19	0.00	0.0	0.19	SC	0.02	10.5	0.21	SC	0.07	27.9	0.26	M
7.2	0.20	0.00	0.0	0.20	SC	0.07	25.3	0.27	M	0.11	35.3	0.31	M
8.1	0.35	0.02	6.1	0.37	M	0.04	9.9	0.39	M	0.04	9.9	0.39	M
8.2	0.16	0.01	5.1	0.17	SC	0.03	14.7	0.19	SC	0.08	34.3	0.25	SC
8.3	0.15	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC	0.01	6.2	0.16	SC
9.1	0.21	0.01	5.2	0.22	SC	0.01	5.2	0.22	SC	0.04	14.1	0.25	SC
10.1	0.17	0.03	15.5	0.20	SC	0.03	16.9	0.20	SC	0.04	18.4	0.20	SC
10.2	0.16	0.01	4.9	0.17	SC	0.03	17.4	0.20	SC	0.04	20.9	0.21	SC
10.3	0.22	0.05	17.2	0.27	M	0.05	17.2	0.27	M	0.07	24.4	0.29	M
10.4	0.16	0.00	0.0	0.16	SC	0.03	16.1	0.20	SC	0.03	16.1	0.20	SC
10.5	0.42	0.00	0.0	0.42	M	0.00	0.0	0.42	M	0.05	11.3	0.47	M
10.6	0.65	0.00	0.0	0.65	L	0.00	0.0	0.65	L	0.02	2.6	0.67	L
11.1	0.25	0.00	0.0	0.25	SC	0.00	0.0	0.25	SC	0.11	30.5	0.36	M
11.2	0.64	0.19	22.8	0.83	L	0.19	22.8	0.83	L	0.19	22.8	0.83	L
12.1	0.11	0.00	0.0	0.11	SC	0.00	0.0	0.11	SC	0.01	6.1	0.12	SC
12.2	0.12	0.03	19.2	0.15	SC	0.04	26.5	0.17	SC	0.07	36.0	0.19	SC
12.3	0.12	0.00	0.0	0.12	SC	0.00	0.0	0.12	SC	0.02	15.4	0.14	SC
13.1	0.36	0.04	10.4	0.40	M	0.04	10.4	0.40	M	0.07	15.6	0.43	M
13.2	0.24	0.00	0.0	0.24	SC	0.00	0.0	0.24	SC	0.00	0.0	0.24	SC
14.1	0.27	0.00	0.0	0.27	M	0.00	0.0	0.27	M	0.06	19.1	0.34	M
14.2	0.27	0.05	14.8	0.32	M	0.05	14.8	0.32	M	0.08	23.0	0.35	M
14.3	0.16	0.00	0.0	0.16	SC	0.00	0.0	0.16	SC	0.05	24.8	0.22	SC
14.4	0.13	0.02	12.6	0.15	SC	0.02	12.6	0.15	SC	0.03	18.6	0.16	SC
14.5	0.10	0.00	0.0	0.10	SC	0.00	0.0	0.10	SC	0.01	10.1	0.12	SC
14.6	0.15	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC
14.7	0.15	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC
14.8	0.15	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC
14.9	0.28	0.02	6.3	0.30	M	0.02	6.3	0.30	M	0.02	6.3	0.30	M
15.1	0.20	0.03	12.9	0.23	SC	0.04	17.9	0.25	SC	0.08	28.2	0.28	M
15.2	0.27	0.00	0.0	0.27	M	0.00	0.0	0.27	M	0.12	30.5	0.39	M

IC= Índice de Columna, IM= Índice de Muro, IP = Índice Prioritario, IM/IP = Aporte índice de muro al índice prioritario, **SC** = Severo o colapso, **M** = Moderado, **L** = Sin daño o daño ligero.

Tabla 6.2 Índices prioritarios (continuación)

# Estructura	IC (%)	Criterio 1				Criterio 2				Criterio 3			
		IM (%)	IM/IP (%)	IP (%)	Nivel daño	IM (%)	IM/IP (%)	IP (%)	Nivel daño	IM (%)	IM/IP (%)	IP (%)	Nivel daño
16.1	0.16	0.00	0.0	0.16	SC	0.00	0.0	0.16	SC	0.01	3.1	0.16	SC
16.2	0.25	0.00	0.0	0.25	SC	0.00	0.0	0.25	SC	0.02	8.8	0.27	M
16.3	0.85	0.00	0.0	0.85	L	0.09	9.1	0.94	L	0.12	12.6	0.98	L
17.1	0.36	0.00	0.0	0.36	M	0.00	0.0	0.36	M	0.00	0.0	0.36	M
17.2	0.37	0.06	14.3	0.43	M	0.06	14.3	0.43	M	0.06	14.3	0.43	M
19.1	0.31	0.02	6.9	0.33	M	0.06	16.4	0.37	M	0.11	26.1	0.42	M
19.2	0.34	0.03	8.6	0.37	M	0.06	14.5	0.39	M	0.07	17.4	0.41	M
19.3	0.53	0.00	0.0	0.53	L	0.00	0.0	0.53	L	0.00	0.0	0.53	L
20.1	0.13	0.01	5.6	0.14	SC	0.01	5.6	0.14	SC	0.03	16.6	0.16	SC
20.2	0.21	0.03	12.2	0.23	SC	0.03	12.2	0.23	SC	0.03	14.3	0.24	SC
21.1	0.30	0.03	9.0	0.33	M	0.03	9.0	0.33	M	0.11	27.1	0.41	M
22.1	0.21	0.00	0.0	0.21	SC	0.00	0.0	0.21	SC	0.01	5.4	0.22	SC
22.2	0.25	0.00	0.0	0.25	SC	0.04	14.1	0.29	M	0.04	14.1	0.29	M
22.3	0.12	0.00	0.0	0.12	SC	0.00	0.0	0.12	SC	0.01	8.2	0.14	SC
23.1	0.10	0.04	26.6	0.14	SC	0.04	26.6	0.14	SC	0.10	50.4	0.20	SC
23.2	0.12	0.02	13.4	0.14	SC	0.02	13.4	0.14	SC	0.07	36.3	0.19	SC
23.3	0.23	0.17	43.0	0.40	M	0.17	43.0	0.40	M	0.19	45.2	0.42	M
24.1	0.22	0.00	0.0	0.22	SC	0.01	5.5	0.23	SC	0.05	17.1	0.26	M
25.1	0.37	0.00	0.0	0.37	M	0.03	7.8	0.40	M	0.04	9.3	0.41	M
25.2	0.07	0.10	59.0	0.17	SC	0.10	59.0	0.17	SC	0.10	59.2	0.17	SC
26.1	0.15	0.02	13.9	0.18	SC	0.02	13.9	0.18	SC	0.06	27.8	0.21	SC
26.2	0.14	0.00	0.0	0.14	SC	0.00	0.0	0.14	SC	0.06	28.7	0.19	SC
27.1	0.17	0.01	5.1	0.18	SC	0.01	5.1	0.18	SC	0.02	9.4	0.18	SC
27.2	0.15	0.00	0.0	0.15	SC	0.00	0.0	0.15	SC	0.01	5.9	0.16	SC
27.3	0.07	0.00	0.0	0.07	SC	0.00	0.0	0.07	SC	0.01	12.6	0.08	SC
28.1	0.29	0.02	7.3	0.31	M	0.02	7.3	0.31	M	0.03	8.7	0.32	M
28.2	0.13	0.00	0.0	0.13	SC	0.00	0.0	0.13	SC	0.01	4.4	0.14	SC
29.1	0.33	0.00	0.0	0.33	M	0.00	0.0	0.33	M	0.02	5.7	0.35	M
29.2	0.17	0.00	0.0	0.17	SC	0.05	22.7	0.22	SC	0.05	22.7	0.22	SC
29.3	0.16	0.00	0.0	0.16	SC	0.00	0.0	0.16	SC	0.03	15.0	0.19	SC
29.4	0.22	0.00	0.0	0.22	SC	0.03	10.5	0.24	SC	0.06	20.7	0.28	M
30.1	0.26	0.03	11.2	0.29	M	0.03	11.2	0.29	M	0.06	18.8	0.32	M
30.2	0.63	0.00	0.0	0.63	L	0.00	0.0	0.63	L	0.00	0.0	0.63	L
30.3	0.18	0.00	0.0	0.18	SC	0.00	0.0	0.18	SC	0.00	0.0	0.18	SC
31.1	0.16	0.01	3.6	0.16	SC	0.01	8.5	0.17	SC	0.03	14.9	0.19	SC
31.2	0.17	0.00	0.0	0.17	SC	0.00	0.0	0.17	SC	0.02	10.6	0.19	SC
33.1	0.32	0.00	0.0	0.32	M	0.00	0.0	0.32	M	0.02	6.0	0.35	M
33.2	0.32	0.00	0.0	0.32	M	0.00	0.0	0.32	M	0.08	20.4	0.40	M
33.3	0.29	0.00	0.0	0.29	M	0.00	0.0	0.29	M	0.01	3.0	0.29	M
33.4	0.72	0.00	0.0	0.72	L	0.00	0.0	0.72	L	0.07	8.7	0.79	L

IC= Índice de Columna, IM= Índice de Muro, IP = Índice Prioritario, IM/IP = Aporte índice de muro al índice prioritario, **SC** = Severo o colapso, **M** = Moderado, **L** = Sin daño o daño ligero.

6.3 CLASIFICACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS EVALUADAS

Los resultados del índice prioritario fueron graficados con el objetivo de llevar a cabo una clasificación de las estructuras de acuerdo a las fronteras propuestas por el método de Hassan y Sözen (1997), y de esta forma, identificar las estructuras más vulnerables a las cuales se les debería realizar un estudio de vulnerabilidad sísmica más detallado.

La Figura 6.4 presenta las gráficas de los índices prioritarios de las escuelas de Medellín, Itagüí y Sabaneta, teniendo en cuenta cada uno de los criterios establecidos para el cálculo del índice de muro. La frontera 1 corresponde a un índice prioritario de 0.25% y la frontera 2 a un índice de 0.50%. Hassan y Sözen (1997) definen la zona por debajo de la frontera 1 para identificar las estructuras con daño severo y colapso y con un nivel de prioridad alto, y la zona entre las fronteras 1 y 2 para identificar las estructuras con daño moderado. La frontera 3 fue establecida por el American Concrete Institute Committee ACI-314 del 2013 como requisito mínimo de diseño de edificaciones y corresponde a un índice de muro mínimo de 0.20% (Pujol, S., asesoría personal, 22 jul.2013); la frontera 3 fue establecida a partir de todos los resultados obtenidos en los estudios donde ha sido aplicado el método del índice prioritario después de los sismos en Erzincan 1992, Düzce 1999, Bingöl 2003, Wenchuan 2008, Haití 2010, teniendo en cuenta todas aquellas estructuras identificadas con daño severo. La frontera 4 corresponde a un índice prioritario de 0.4% el cual fue propuesto por Dönmez y Pujol (2005) para la clasificación de las estructuras evaluadas en Turquía (1999) donde todas aquellas edificaciones con índices prioritarios menores que 0.4% se consideraron como estructuras vulnerables (O'brien *et al.*, 2011). En este trabajo de investigación la clasificación de las estructuras e identificación de edificaciones vulnerables se realizó teniendo en cuenta las fronteras establecidas por Hassan y Sözen (1997), y de acuerdo a criterios de clasificación establecidos para tener en cuenta la existencia o no de columnas cortas en las estructuras y si las edificaciones tienen o no buenos niveles de detallamiento del refuerzo. A continuación se presenta el análisis de resultados a partir de los índices prioritarios calculados.

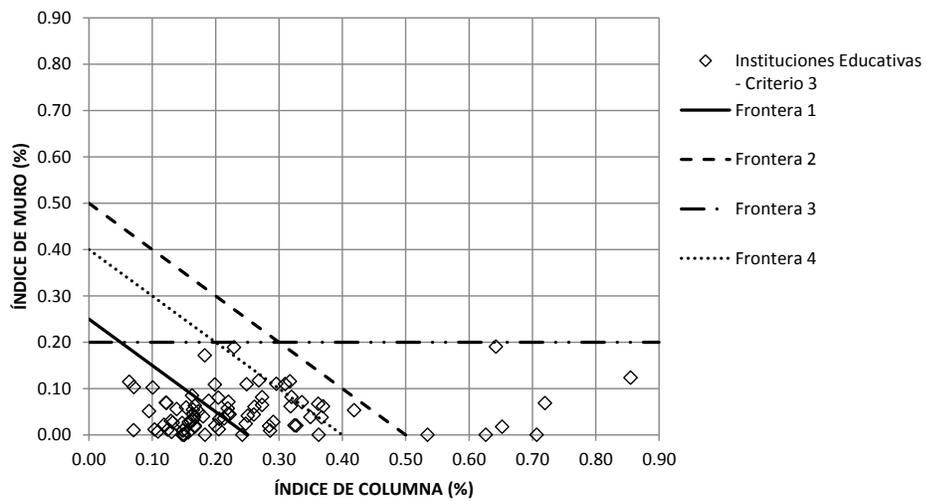
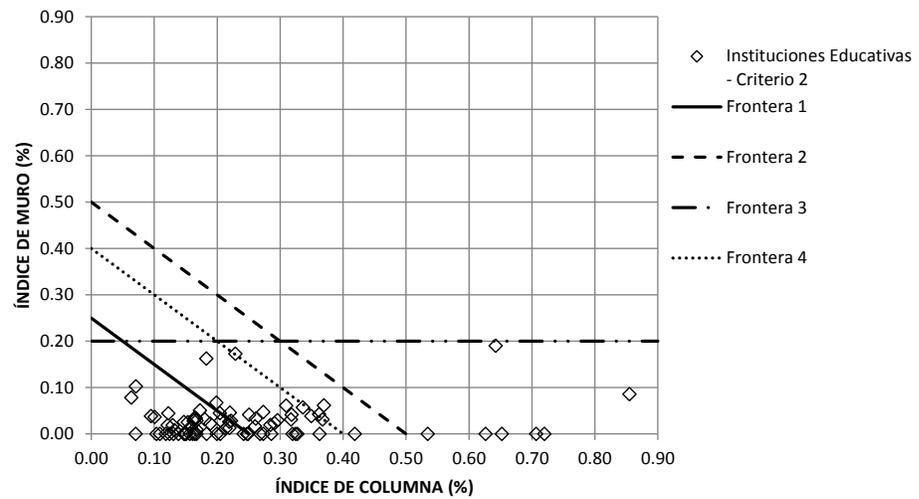
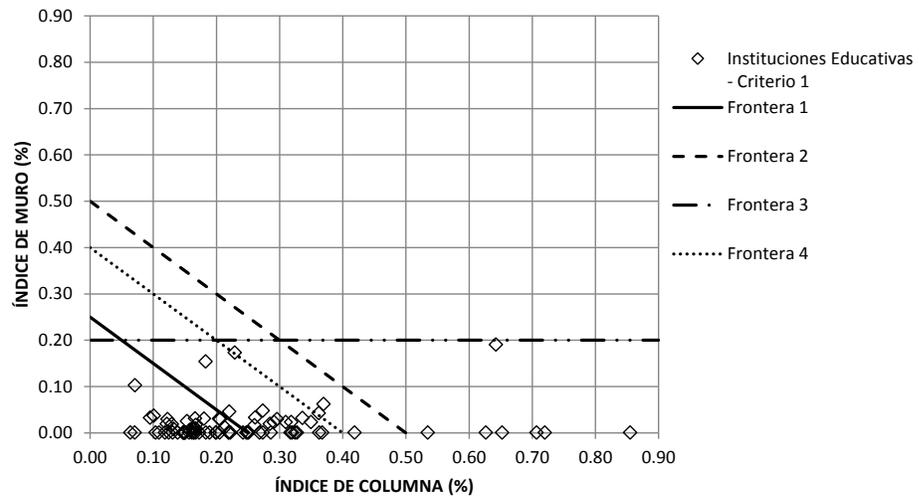


Figura 6.4 Índice prioritario - criterios índices de muro

6.3.1 Análisis de resultados

Los índices prioritarios de todas las edificaciones analizadas se encuentran dentro de la zona delimitada por la frontera 3, que corresponde a un índice de muro mínimo de 0.2%, lo cual indicaría según el criterio del ACI-314 del 2013, que todas las estructuras son vulnerables. Este criterio es muy conservador al no tener en cuenta el índice de columna, además de que algunas de las estructuras son relativamente nuevas y se asume que estos edificios tienen un buen nivel de detallamiento del refuerzo, ya que fueron construidos bajo la vigencia de normas sísmo resistentes en el país.

El índice prioritario promedio varía entre 0.27% y 0.30% de acuerdo a los criterios establecidos para el cálculo del índice de muro, donde el aporte promedio del índice de muro al índice prioritario varía entre un 6 y 17%. Dönmez y Pujol (2005) establecen que si una estructura tiene un índice prioritario menor que el 0.4%, dicha edificación es vulnerable ante la ocurrencia de un sismo (O'Brien *et al.*, 2011). Al comparar la medida del 0.4% con el índice prioritario promedio de las edificaciones en estudio (que varía entre 0.27% y 0.30%), se observa que el promedio está bastante alejado del índice establecido por Dönmez y Pujol (2005). Solo del 13 al 21% de las estructuras evaluadas sobrepasan dicho valor de acuerdo a cada uno de los criterios analizados para el cálculo del índice de muro.

La variación de los índices prioritarios con respecto a cada uno de los criterios para el cálculo del índice de muro no es muy significativa. Las Tabla 6.3 a 6.5 presentan la clasificación de las estructuras analizadas de acuerdo a su índice prioritario para cada uno de los criterios de índice de muro. El 61% de las estructuras analizadas tienen una prioridad alta ($IP \leq 0.25$) según el criterio 1, mientras que el 59% y el 50% de las estructuras tienen una prioridad alta según los criterios 2 y 3 respectivamente. Se concluyó finalmente que entre un 50 y 61% de las estructuras analizadas son edificaciones con un nivel de prioridad alto y deberían ser analizadas con mayor detalle.

Tabla 6.3 Clasificación de estructuras índice prioritario – criterio 1

Índice prioritario	# Estructuras	% Estructuras
IP \leq 0.25 (estructuras con daño severo o colapso)	50	61.0%
0.25 < IP \leq 0.50 (estructuras con daño moderado)	25	30.5%
IP > 0.50 (estructuras con daño ligero o sin daño)	7	8.5%
TOTAL	82	100.0%

Tabla 6.4 Clasificación de estructuras índice prioritario – criterio 2

Índice prioritario	# Estructuras	% Estructuras
IP ≤ 0.25 (estructuras con daño severo o colapso)	48	58.5%
0.25 < IP ≤ 0.50 (estructuras con daño moderado)	27	32.9%
IP > 0.50 (estructuras con daño ligero o sin daño)	7	8.5%
TOTAL	82	100.0%

Tabla 6.5 Clasificación de estructuras índice prioritario – criterio 3

Índice prioritario	# Estructuras	% Estructuras
IP ≤ 0.25 (estructuras con daño severo o colapso)	41	50.0%
0.25 < IP ≤ 0.50 (estructuras con daño moderado)	34	41.5%
IP > 0.50 (estructuras con daño ligero o sin daño)	7	8.5%
TOTAL	82	100.0%

Dentro del inventario de estructuras analizadas se encuentran edificaciones construidas en diferentes épocas. La Figura 5.1 presentó la distribución de las edificaciones evaluadas con respecto al año de construcción donde se observó que un 34% de las estructuras evaluadas fueron construidas antes de 1984 y muy probablemente sin normas sismo resistentes debido a que el primer código entró en vigencia en el año de 1984. Un 33%, 32% y 1% de las edificaciones en estudio se construyeron bajo la vigencia del código CCCSR-84 (AIS, 1984b) y amparadas por las dos actualizaciones del código de 1984, la norma NSR-98 y NSR-10 (AIS, 1998; AIS 2010) respectivamente. La primera actualización de la norma sismo resistente (AIS, 1998) incluyó avances importantes en la ingeniería sísmica, por lo que se considera que las estructuras construidas teniendo en cuenta el reglamento de 1998 son estructuras con un adecuado comportamiento sísmico.

Las edificaciones evaluadas en este proyecto de investigación han sido construidas con y sin normas ingenieriles y en algunos casos se observó una mala calidad en la construcción y presencia de columnas cortas. La aplicación del índice prioritario en Bingöl (2003) solo identificó el 41% de las estructuras colapsadas, puesto que este método no identifica la presencia de columnas cortas en una edificación y, para el caso de las estructuras

evaluadas en Bingöl, la presencia de este tipo de columnas fue la causa recurrente en el colapso de las edificaciones (Sözen, 2014). Debido a que el método del índice prioritario no identifica si las estructuras tienen o no columnas cortas o si fueron o no construidas con un buen nivel de detallamiento del refuerzo, se realizó una clasificación más objetiva de las estructuras dentro de cada criterio para superar en cierto grado las desventajas que presenta el método del índice prioritario. Se asumió entonces que las estructuras construidas bajo la vigencia de la norma sismo resistente NSR-98 (AIS, 1998) y la posterior actualización de este código, la norma NSR-10 (AIS, 2010) se construyeron de forma adecuada y tienen un buen nivel de detallamiento del refuerzo y, por lo tanto, un nivel de ductilidad que permitirá deformaciones inelásticas en caso de un evento sísmico importante.

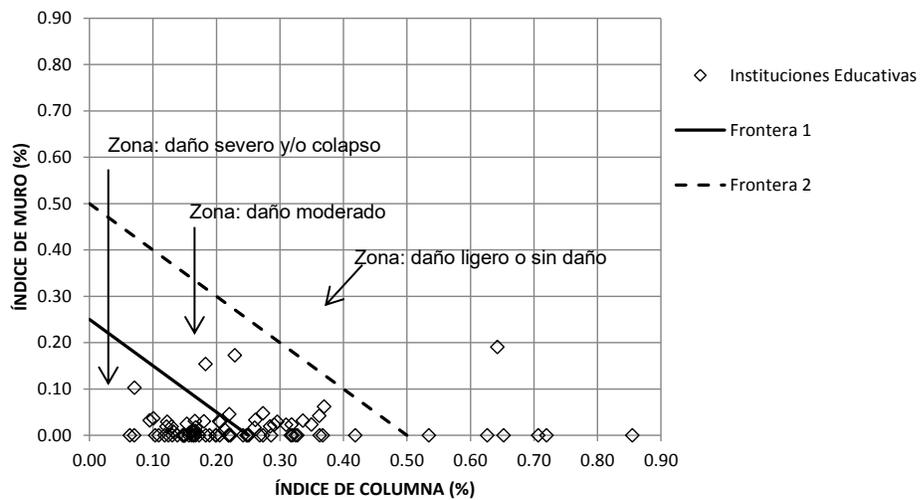
La Tabla 6.6 presenta la clasificación que define si una estructura es de alta prioridad o no, de acuerdo a su índice prioritario, año de construcción y la existencia o no de columnas cortas. Para el criterio 1 se identifican 32 estructuras con prioridad alta de las 50 edificaciones con índices prioritarios menores de 0.25%, las cuales fueron construidas con un nivel bajo de detallamiento del refuerzo (construcciones antes de 1998). En los criterios 2 y 3 se identificaron 30 de 48 edificaciones y 25 de 41 edificios respectivamente. Adicionalmente, al tener en cuenta todas aquellas estructuras con índices mayores a 0.25% construidas antes de 1998 y con columnas cortas, se identifican 17, 19 y 24 edificaciones con prioridad alta para los criterios 1, 2 y 3 respectivamente. De acuerdo a las clasificaciones realizadas, son en total 49 estructuras con prioridad alta y corresponden a las mismas edificaciones en cada criterio. El anexo D presenta el resumen de resultados de cada una de las estructuras evaluadas el cual incluye el índice de muro, columna e índice prioritario de cada edificación, la clasificación de las estructuras prioritarias con sus respectivas observaciones realizadas en campo y una descripción del estado estructural de la construcción. También se presenta un registro fotográfico de cada edificio, esto facilita la identificación de cada estructura.

La Figura 6.5 presenta un cuadro comparativo entre la clasificación de las estructuras evaluadas en esta investigación de acuerdo a Hassan y Sözen (1997) y la clasificación de las estructuras propuesta en la Tabla 6.6. Los resultados que se presentan a continuación en la Figura 6.5 corresponden a índices prioritarios calculados teniendo en cuenta el criterio 1 que es el más conservador para el cálculo del índice de muro.

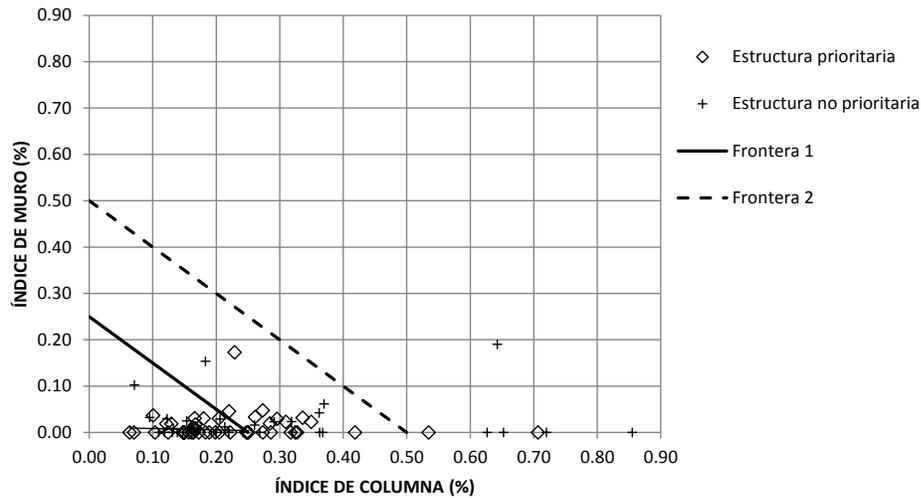
Tabla 6.6 Clasificación de las estructuras

Prioridad	Clasificación	# Estructuras criterio 1	# Estructuras criterio 2	# Estructuras criterio 3
Prioridad alta	Ac <1998 IP≤0.25	32	30	25
	Ac <1998 IP>0.25 Cc: Si	17	19	24
SUMATORIA PARCIAL		49	49	49
No es de alta prioridad	Ac >1998 IP≤0.25	18	18	16
	Ac <1998 IP>0.25 Cc: No	5	6	6
	Ac >1998 IP>0.25	10	9	11
TOTAL =		82	82	82

IP = Índice Prioritario, Cc = Columnas cortas, Ac = Año de construcción.



Índice prioritario - Instituciones educativas (Hassan y Sözen, 1997)



Índice prioritario - año de construcción - presencia de columnas cortas (Clasificación propuesta en la Tabla 6.6)

Figura 6.5 Clasificación de Hassan y Sözen (1997) y clasificación propuesta en la Tabla 6.6

En la Figura 6.5 se observa que la clasificación propuesta en la Tabla 6.6 modifica los resultados obtenidos teniendo en cuenta las fronteras de Hassan y Sözen (1997), donde estructuras prioritarias contenidas por la frontera 1 clasificaron como no prioritarias (18 de 50 edificaciones) y de igual forma estructuras que clasificaron en las zonas con índices prioritarios mayores de 0.25% resultaron ser prioritarias de acuerdo a la clasificación de la Tabla 6.6. (17 de 32 estructuras).

6.4 POSIBLES PÉRDIDAS ANTE SISMOS FUTUROS

A continuación se presentan las características principales de las construcciones comunes en Turquía y Haití, posteriormente se realiza una comparación de este tipo de construcciones con las clases de construcción más comunes realizadas en la ciudad de Medellín – Colombia, planteando un escenario de posibles pérdidas económicas a partir del paralelo realizado entre los países de Colombia, Turquía y Haití.

6.4.1 Prácticas de Construcción en Turquía

El tipo de estructura típico en Turquía según Gulkan *et al.* (2002) es el sistema aporticado de concreto reforzado con muros de mampostería simple, con columnas de 20x30 cm; las columnas se diseñan para que encajen dentro de los muros. Los pisos y techos son losas aligeradas con ladrillos de arcilla o bloques de concreto que son soportados por vigas de concreto reforzado, en algunos casos las losas son macizas de concreto reforzado. Los muros de mampostería son construidos con ladrillos de arcilla, los cuales raramente son conectados a la estructura aporticada. La Figura 6.6 presenta un ejemplo de este tipo de edificaciones. Por lo general este tipo de estructuras se encuentra cimentada en el suelo con zapatas aisladas o losas de fundación. Estas edificaciones no se han comportado bien ante la ocurrencia de sismos en la región, debido a los malos diseños y la mala calidad de la construcción. Lo anterior se ha reflejado en estructuras con resistencias laterales insuficientes, lo cual se ha unido a inapropiadas formas de construcción que conllevan a construcciones con calidades pobres.



Figura 6.6 Edificio típico – pórticos con muros de mampostería simple (Gulkan *et al.*, 2002)

A pesar de la existencia de códigos sísmo resistentes desde hace 40 años, muchos edificios no han sido diseñados para un sismo de una magnitud que podría ocurrir dentro de la vida útil de las edificaciones. Las edificaciones más viejas construidas hace 60 años, son estructuras que fueron diseñadas únicamente para cargas gravitacionales, sin tener en cuenta ningún tipo de código sísmo resistente (Gulkan *et al.*, 2002). La Figura 6.7 presenta una configuración en planta de un edificio en Turquía.

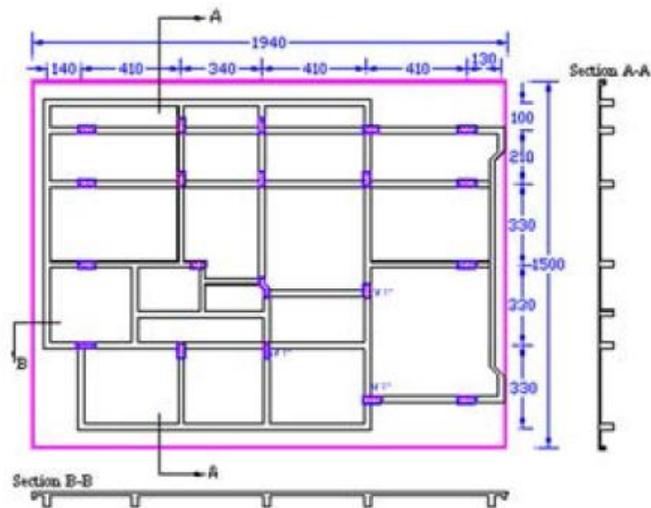


Figura 6.7 Edificio planta típica – ejemplo de un edificio de cinco pisos (Gulkan *et al.*, 2002)

6.4.2 Prácticas de Construcción en Haití

En Haití no existe ningún tipo de código de construcción sísmo resistente (Bravo *et al.*, 2010), la mayoría de los edificios son hechos de concreto y mampostería (bloque de concreto), los cuales tienden a desempeñarse de una forma inadecuada durante la ocurrencia de un sismo (Bhatty, 2010).

La mala calidad de los materiales usados en construcción es un problema de real importancia en Haití, lo cual lleva a la construcción de edificaciones demasiado vulnerables y se termina construyendo edificios con poca resistencia sísmica. Adicionalmente, se tienen grandes problemas con la falta de normas sismo resistentes para la construcción en el país. Por otro lado, el gobierno no funciona en muchos lugares del país, numerosas comunidades carecen de servicios de electricidad, sanitarios y de acceso a agua potable. En este orden de condiciones, el problema de la falta de normatividad sismo resistente es uno de los últimos puntos en la lista de necesidades del país (Bhatty, 2010). La Figura 6.8 presenta el colapso de varios edificios en el centro de Port-au-Prince debido a la ocurrencia del sismo de enero de 2010 en Haití.

Al no existir normas sismo resistentes, las columnas y otros elementos de concreto reforzado son relativamente esbeltos con secciones transversales insuficientes. Estos elementos estructurales se diseñan sin los requerimientos mínimos de sismo resistencia (Cowen, 2010).

Los edificios en Haití son bastante débiles, incluso su desempeño ante cargas gravitacionales es cuestionable: casi 100 personas, la mayoría niños, murieron cuando dos escuelas colapsaron en noviembre del 2008 sin necesidad de un movimiento fuerte del terreno. Las autoridades Haitianas culparon a la mala calidad de la construcción por los accidentes ocurridos (Bhatty, 2010).



Figura 6.8 Colapso de edificios en el centro de Port-au-Prince (Bhatty, 2010)

Las grandes pérdidas económicas y de vidas humanas en Haití después del sismo de enero del 2010, se deben al uso de técnicas de construcción pobres y al mal uso del concreto, lo cual le proporciona a las edificaciones una resistencia débil ante cargas laterales generadas por eventos sísmicos. En general las estructuras en Haití fueron construidas en su mayoría con concreto elaborado con mezclas de mala calidad y con el uso de poco acero de refuerzo (McWilliams y Griffin, 2013). La Figura 6.9 presenta el tipo de bloque de concreto usado en Haití y algunas columnas que muestran la mala calidad del concreto y la falta del acero de refuerzo.



Bloque de concreto – Haití



Calidad del material y falta de acero de refuerzo

Figura 6.9 Mala calidad de construcción en Haití (McWilliams y Griffin, 2013)

6.4.3 Construcción en Medellín – Colombia y su relación con las practicas constructivas en Turquía y Haití

Con la redacción de esta sección no se pretende mostrar cual país tiene una mayor vulnerabilidad sísmica, pero si mostrar que existen similitudes importantes entre las practicas constructivas realizadas en cada país. Tanto en Turquía como en Haití han ocurrido sismos que han dejado en descubierto la mala calidad de la construcción, incluso en Turquía donde cuentan con normas sismo resistentes desde hace aproximadamente 40 años. Estos sismos que han ocurrido en Turquía y Haití han dejado una gran cantidad de daños y pérdida de vidas humanas.

En Colombia existe una reglamentación sismo resistente para la construcción desde el año 1984 la cual ha sido actualizada en dos ocasiones: la actualización del reglamento en 1998 (AIS, 1998) y en el 2010 (AIS, 2010). El conocimiento de la ingeniería sísmica en el país está en constante crecimiento e investigación, lo cual le ha permitido al gremio de ingenieros diseñar y construir estructuras seguras ante la ocurrencia de un sismo con buenos niveles de resistencia sísmica. Desafortunadamente, el inventario de edificaciones

del país también incluye estructuras que se construyeron antes de la entrada en vigencia de normas sismo resistentes, es decir, diseñadas únicamente para cargas gravitacionales, y estructuras construidas mediante procesos de autoconstrucción, sin considerar ningún tipo de normas ingenieriles. Dentro de las estructuras diseñadas sin normas sismo resistentes, algunas de ellas presentan una buena calidad de construcción. Adicionalmente existen zonas conocidas como asentamientos informales donde la calidad de materiales y de construcción es mala. En el capítulo 2.4 se presentaron las tipologías de construcción más comunes en Medellín, Colombia y en áreas donde se ha construido sin normas de sismo resistencia y/o con malas prácticas de construcción (pórticos de concreto reforzado sin normas sismo resistentes y estructuras de mampostería no reforzada). Dichas estructuras presentan una baja resistencia ante fuerzas laterales generadas por sismos, puesto que estos sistemas estructurales por lo general se construyen para soportar cargas verticales o gravitacionales pero sin tener en cuenta ningún concepto sísmico.

Carmona (2012) en su tesis de maestría presenta una descripción de la configuración estructural y detallado del refuerzo de estructuras aporricadas en Colombia antes de 1984, año el que entró en vigencia el primer código de sismo resistencia en el país; esta descripción se realizó teniendo en cuenta los manuales y códigos internacionales para el diseño de estructuras de concreto (ATC-40-96, ACI 318-63, ACI 318-71, SEAOC 1974) que usaban algunos ingenieros como apoyo y en forma voluntaria en los proyectos que diseñaban. Aunque estos códigos de diseño estructural proponían un detallado de refuerzo, este detallado aún no manejaba conceptos de ingeniería sísmica, por lo que se encontraban varias deficiencias que incluían ausencia de zonas de confinamiento en vigas y columnas, secciones de vigas y columnas que generaban el mecanismo de falla viga fuerte-columna débil, refuerzo longitudinal discontinuo, nudos sin estribos de confinamiento, uso del refuerzo liso, entre otros. La ACI 318-71 presentó detalles especiales para el diseño sísmico pero el detallamiento del refuerzo aún presentaba deficiencias. Adicionalmente Carmona (2012) consultó con ingenieros colombianos de gran experiencia en el diseño estructural las metodologías utilizadas para el diseño de estructuras antes de 1984. Estos ingenieros confirmaron la aplicación de normas internacionales para el diseño estructural. Muy pocos ingenieros aplicaban los requisitos especiales proporcionados por el ACI 318-71 para el diseño sísmico, realizando diseños que tenían en cuenta solo cargas verticales. Una búsqueda de planos estructurales de edificios construidos antes de 1984 fue realizada por Carmona (2012) donde se encontraron detallados de refuerzo similares a los propuestos

por las normas (ATC-40-96, ACI 318-63, ACI 318-71, SEAOC 1974) los cuales presentan deficiencias y no son apropiados para proporcionar una resistencia adecuada ante fuerzas laterales.

Las edificaciones que han sido construidas sin tener en cuenta conceptos de ingeniería sísmica antes y después del surgimiento del primer código sismo resistente del país en 1984, así como también todas aquellas edificaciones construidas mediante procesos de autoconstrucción, y las que se han ido ubicando en asentamientos informales en la ciudad de Medellín son estructuras que por lo general son construidas con una calidad y mano de obra bastante deficiente; este tipo de estructuras ha mostrado un bajo desempeño en sismos ocurridos en Colombia, como es el caso del sismo de Armenia de 1999.

El sismo de Armenia de 1999 tuvo una magnitud M_w 6.2 y se localizó cerca del municipio de Córdoba (Quindío) a 17 km de la ciudad de Armenia (Monsalve *et al.*, 2002). Los valores máximos de aceleración se registraron a una distancia epicentral de 13 km; las aceleraciones registradas en suelo fueron 0.59 g de aceleración horizontal y de 0.46 g en la componente vertical de acuerdo a información obtenida de la página web del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (<http://www.sgD.gov.co/>). La ciudad de Armenia con una población de 223,000 personas en el año de 1999 de acuerdo al estudio realizado por Pujol *et al.*, (1999) está ubicada en una zona de amenaza sísmica alta (AIS, 2010). El sismo de Armenia de 1999 generó una gran cantidad de pérdida de vidas humanas y económicas (Pujol *et al.*, 1999). El estudio de daños realizado por Pujol *et al.*, (1999) presenta que los daños observados corresponden principalmente a fallas ocasionadas por columnas cortas, falta de refuerzo transversal, interacción entre elementos no estructurales y estructurales y el detallamiento deficiente del refuerzo. Edificaciones con este tipo de deficiencias estructurales son construcciones vulnerables ante la ocurrencia de eventos sísmicos. La falta de control ingenieril en los procedimientos constructivos, los procesos de autoconstrucción en algunas zonas de la ciudad de Medellín dan lugar a edificaciones que pueden llegar a sufrir muchos daños y generar la pérdida de vida de muchas personas.

Las prácticas de construcción en algunas áreas de las ciudades principales de Colombia, Turquía y Haití tienen la particularidad de ser llevadas a cabo con la falta de normas de sismo resistencia o sin el cumplimiento de éstas; la calidad de los materiales usados en construcción es deficiente y en muchos casos los procesos constructivos pueden ser

dirigidos por los mismos propietarios de las edificaciones. En algunos casos la ampliación de estas estructuras se da con la adición de más pisos (Mejía *et al.*, 2002a; Mejía *et al.*, 2002b; Gulkan *et al.*, 2002) generando mayores niveles de vulnerabilidad sísmica de las estructuras al aumentar la masa de los edificios. Los sismos ocurridos en Turquía (1999) y en Haití (2010) generaron graves daños en las edificaciones y una gran cantidad de fatalidades. Teniendo en cuenta que las practicas constructivas en algunas zonas de ciudades importantes en Colombia son similares a las ejecutadas en Turquía y Haití, y que adicionalmente la demanda sísmica para Medellín es media a alta de acuerdo a el código de normas sismo resistentes del país NSR-10 (AIS, 2010) y al estudio de microzonificación del Valle de Aburrá realizado por el Consorcio Microzonificación 2006 (2007), se esperaría que un evento sísmico importante en Medellín produzca niveles de aceleración similares a los registrados en las ciudades de Düzce, Port-au-Prince y Léogâne y que las consecuencias generadas fueran igualmente devastadoras.

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta investigación se buscó analizar el nivel de vulnerabilidad sísmica de algunas escuelas de Medellín, Itagüí y Sabaneta mediante la aplicación de la metodología del índice prioritario, metodología propuesta inicialmente por Hassan y Sözen (1997), que permite de una manera simple identificar si una estructura requiere de un análisis de vulnerabilidad más detallado. Las tres ciudades incluidas en este estudio se encuentran ubicadas en zonas de amenaza sísmica media a alta según el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10 (AIS, 2010) y el estudio de microzonificación del Valle de Aburrá realizado por el Consorcio Microzonificación 2006 (2007). Estas ciudades hacen parte del Área Metropolitana del Valle Aburrá, donde se concentra una gran cantidad de la población del departamento de Antioquia. Las estructuras construidas en estas ciudades tienen diferentes niveles de vulnerabilidad sísmica de acuerdo a las buenas o malas prácticas de construcción y al uso o no de normas sismo resistentes.

Las estructuras que conforman el inventario de edificaciones evaluado en este proyecto de investigación corresponden a edificaciones que hacen parte de instituciones educativas. Se decidió evaluar este tipo de estructuras puesto que una gran cantidad de menores habitan gran parte de su tiempo en su interior. La norma sismo resistente clasifica las escuelas como edificaciones indispensables, las cuales pueden servir de ayuda a la hora de atender una emergencia relacionada con un evento sísmico. Las instituciones educativas visitadas durante los trabajos de campo se encuentran ubicadas por lo general en la zona central de Medellín en zonas de estratos 1 al 4 y en los municipios de Itagüí y Sabaneta en estratos del 1 al 3. La selección de escuelas se llevó a cabo teniendo en cuenta los niveles de seguridad de las zonas a visitar y que las instituciones educativas tuvieran al menos una edificación de pórticos de concreto reforzado puesto que el método del índice prioritario es aplicable a este tipo de edificaciones. Finalmente se evaluaron 30 instituciones educativas para un total de 82 estructuras analizadas puesto que algunas escuelas tenían más de una edificación.

La metodología del índice prioritario aplicada en este proyecto requiere de información básica de la estructura a analizar: secciones transversales de muros y columnas, geometría

de la planta, número de pisos. Para la recolección de dicha información se generó un formato de fácil manejo que puede usarse por cualquier persona que ha sido capacitada para tal fin. Para la recolección de los datos se capacitaron dos estudiantes de ingeniería civil, que junto con el estudiante de maestría, se encargaron de recolectar la información necesaria para el cálculo del índice prioritario en visitas a las escuelas que duraban en promedio dos horas y media.

El índice prioritario calculado para cada una de las edificaciones evaluadas en esta investigación es la suma del índice de columna y del índice de muro, donde el índice de columna es la relación del área transversal efectiva de columna en la base de la estructura con respecto al área total de piso por encima de la base, y el índice de muro es la relación entre el área transversal efectiva de muro en la dirección más débil en la base del edificio y el área total de piso por encima de la base de la estructura.

El método desarrollado por Hassan y Sözen (1997) fue un estudio que se realizó después de la ocurrencia del sismo de Erzincan (1992) en Turquía donde se buscó relacionar la medida del índice prioritario con respecto a la evaluación de los daños de las estructuras causados por el sismo. Hassan y Sözen (1997) graficaron el índice prioritario donde el eje de ordenadas es el índice de muro y el eje de abscisas es el índice de columna y plantearon unas fronteras para la identificación de las estructuras más vulnerables teniendo en cuenta el nivel de daño de las edificaciones. La frontera 1 corresponde a un índice prioritario de 0.25% y define una zona que contiene las estructuras con daño severo y colapso, y la frontera 2 que corresponde a un índice prioritario de 0.50% en conjunto con la frontera 1 definen una zona que contiene las edificaciones con daño moderado.

Al realizar las visitas se observó que el criterio para definir el índice de muro puede prestarse a diversas interpretaciones, por esta razón se establecieron para el cálculo del índice prioritario tres criterios para la selección de muros que aportan resistencia lateral a una estructura y por consiguiente se deben tener en cuenta en el cálculo del índice de muro.

La definición de los criterios de selección de muros permitió evaluar la sensibilidad del índice prioritario con respecto al cálculo del índice de muro para cada uno de los criterios establecidos. El primer criterio es el más conservador y tiene en cuenta solamente las áreas de las secciones transversales de los muros que se encuentran completamente entre

columnas, lo cual permite que se genere una biela de compresión ante fuerzas laterales; el segundo criterio establece que los muros que aportan al índice de muro son los mencionados por el primer criterio y adicionalmente muros entre columnas con aberturas en la parte superior no superiores a 60 cm observadas en campo; el tercer criterio incluye los muros mencionados en el primer y el segundo criterio y adicionalmente todos aquellos muros confinados únicamente en uno de sus extremos y secciones de muro entre aberturas.

De acuerdo a los resultados de este proyecto de investigación, el índice prioritario se mostró poco sensible con respecto a la selección de muros para el cálculo del índice de muro. La Figura 6.4 mostró que la variación entre los resultados de los índices prioritarios para cada criterio no es muy significativa ya que el mayor porcentaje de las estructuras no cambiaron de zona, las cuales son zonas definidas por las fronteras propuestas por Hassan y Sözen (1997) para la identificación de estructuras vulnerables. Las estructuras con daño severo aumentaron solo de un 50% que corresponde al tercer criterio a un 61% que corresponde al primer criterio siendo este el más conservador, por otro lado las estructuras con daño moderado disminuyeron de un 42% (tercer criterio) a un 31% (primer criterio).

Este proyecto de investigación identificó de acuerdo a las fronteras propuestas por Hassan y Sözen (1997) entre un 50 y 61% de las estructuras evaluadas con una alta prioridad de acuerdo a cada uno de los criterios establecidos para el cálculo del índice de muro, lo cual indica que deben ser atendidas en primer lugar y deberían ser analizadas con mayor detalle. Para los resultados finales de este proyecto de investigación se seleccionó el primer criterio, el cual es el criterio más conservador, por lo que el método identificó un 61% de las estructuras evaluadas como edificaciones con mayor vulnerabilidad.

El método del índice prioritario aplicado en esta investigación presenta una desventaja al no identificar si existen o no columnas cortas en una edificación y si la estructura fue o no construida con buenos niveles de detallamiento del refuerzo. Este inconveniente se observó al aplicar la metodología del índice prioritario después del sismo de Bingöl (2003), en donde la aplicación del método únicamente identificó el 41% de las estructuras colapsadas debido a que el método no identifica la presencia de columnas cortas en una edificación y, para el estudio realizado en Bingöl, la causa común que originó el colapso de las estructuras fue la presencia de columnas cortas. Para subsanar esta desventaja en este trabajo se

establecieron dos criterios adicionales que en conjunto con el cálculo de índice prioritario definieron si una estructura era de alta prioridad (mayor vulnerabilidad) o no. Los criterios adicionales que se propusieron en esta investigación para la identificación de estructuras vulnerables se presentaron en la Tabla 6.6 y consistieron en tener en cuenta la presencia de columnas cortas en las edificaciones y el nivel de detallamiento del refuerzo, asumiendo un buen detallamiento para las edificaciones construidas después del año 1998, año en el cual entraron en vigencia las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente, NSR-98.

De acuerdo a la clasificación presentada en la Tabla 6.6, la cual tiene en cuenta el índice prioritario, el año de construcción y la presencia o no de columnas cortas, se identificaron 49 de 82 estructuras (59.8%) con prioridad alta (estructuras más vulnerables del inventario de edificaciones evaluado), lo que corresponde a un alto porcentaje del inventario de estructuras. La Figura 6.5 la cual presenta una comparación entre la clasificación de Hassan y Sözen (1997) y la clasificación propuesta en la Tabla 6.6, identifica edificaciones prioritarias de acuerdo a las fronteras de Hassan y Sözen (1997) que resultaron ser estructuras no prioritarias por la clasificación propuesta en la Tabla 6.6 (18 de 50 estructuras), así mismo, estructuras no prioritarias de acuerdo a las fronteras de Hassan y Sözen (1997) clasificaron como edificaciones prioritarias teniendo en cuenta la clasificación de la Tabla 6.6 (17 de 32 edificaciones).

En este estudio se relacionó la amenaza sísmica de los lugares donde se ha calibrado el método del índice prioritario con la amenaza sísmica del Área Metropolitana del Valle Aburrá, lo cual permitió identificar que es posible esperar para las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta niveles de aceleración similares a los registrados en los lugares donde ha sido evaluado y calibrado el método del índice prioritario. El alto número de edificaciones identificadas como vulnerables (el 59.8%) significa que la vida de muchos menores está en riesgo en caso de ocurrir un evento sísmico importante, el cual es un evento probable, ya que los niveles de aceleración de los sitios donde se realizó la calibración del método del índice prioritario son compatibles con los niveles de aceleración esperados para las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta.

Las estructuras identificadas como prioritarias o con mayor vulnerabilidad en este proyecto de investigación deberían ser analizadas mediante un estudio de vulnerabilidad sísmica

detallado. Los resultados de este estudio quedan a la disposición de las entidades públicas y el público en general. Las entidades gubernamentales podrían priorizar recursos teniendo en cuenta los resultados de esta investigación evaluando las edificaciones que lo requieren en primer lugar.

En este trabajo de investigación se evaluó un número importante de las escuelas de Medellín, Itagüí y Sabaneta para la aplicación del método del índice prioritario de Hassan y Sözen (1997). Desafortunadamente esta muestra de instituciones educativas es un porcentaje pequeño con respecto a la totalidad de escuelas ubicadas en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, por lo que se recomienda ampliar el inventario de estructuras incluyendo un mayor porcentaje de edificaciones. Teniendo en cuenta que la metodología del índice prioritario puede ser aplicada a una gran cantidad de edificaciones en poco tiempo y no requiere de profesionales altamente experimentados, la aplicación de esta metodología no incurre en un alto gasto económico. Al ser un procedimiento sencillo, se podrían capacitar para el trabajo de campo y para el cálculo de los índices prioritarios a ingenieros recién egresados y/o a estudiantes de ingeniería civil de últimos semestres y de este modo evaluar un mayor porcentaje de instituciones en el Vallé de Aburrá.

Un estudio que amplíe la muestra de edificaciones evaluadas en esta investigación debería incluir instituciones educativas de bajos recursos, pero sin dejar de seleccionar escuelas ubicadas en otros estratos que no son considerados como zonas de bajos recursos, ya que estas escuelas pueden tener niveles de vulnerabilidad altos por los procesos de autoconstrucción, falta de normas de ingeniería y/o mala calidad de la construcción.

Una información que serviría de gran apoyo y que no fue recopilada en este trabajo de investigación corresponde a las memorias de cálculo y a los planos estructurales de las escuelas. El estudio de este tipo de información daría una idea más aproximada del nivel de detallamiento del refuerzo de las estructuras evaluadas, lo que permitiría identificar el tipo de diseño estructural y finalmente dar una idea del nivel de la resistencia de las edificaciones ante cargas laterales. Este tipo de información es de gran importancia puesto que podría hacer que una estructura que clasifique como vulnerable ya no lo sea o viceversa. Esto complementarí la información obtenida del método y permitiría un mejor acercamiento a la identificación de las estructuras a analizar más detalladamente.

En este trabajo de investigación el inventario de estructuras se concentró en instituciones educativas, ya que son estructuras indispensables por la cantidad de menores que pasan gran tiempo en su interior y son lugares que pueden servir para atender la emergencia después de un sismo. Sin embargo, el método del índice prioritario puede ser aplicado a cualquier tipo de edificación aptoricada; estructuras como viviendas, centros comerciales, edificios de oficinas, bodegas, almacenes podrían ser incluidas dentro del inventario de estructuras a evaluar en un futuro estudio.

Es importante tener en cuenta la necesidad actual de realizar estudios de vulnerabilidad sísmica en el país: la actualización de la norma sismo resistente de 1984 se dio mediante la ley 400 de 1997 generando el código sismo resistente NSR-98, el cual estableció la necesidad de evaluar la vulnerabilidad sísmica y proponer medidas de reforzamiento (en caso de ser necesario) para aumentar los niveles de resistencia sísmica de las estructuras indispensables construidas antes 1998, año en que entró en vigencia la NSR-98. Desafortunadamente el propósito de evaluar la vulnerabilidad de estas edificaciones no se ha cumplido en la actualidad, por lo que se han venido ampliando los plazos para la realización de este tipo de estudios. La última renovación de plazos se dio con la ley 1229 del 2008, la cual quedó consignada en las actuales normas sismo resistentes del país (NSR-10). De acuerdo a lo anterior, es necesario evaluar la vulnerabilidad sísmica de las estructuras indispensables para dar cumplimiento a las leyes establecidas; la aplicación del método del índice prioritario serviría como un primer filtro para la identificación de estructuras más vulnerables a analizar con mayor detalle.

Un estudio que evalué una gran cantidad de instituciones educativas debería implementarse en este momento antes de la ocurrencia de un evento sísmico importante. Los resultados de dicho estudio podrían ser usados por las entidades gubernamentales para generar planes de acción y de prevención que aumenten los niveles de seguridad de una gran cantidad de menores, así como también generar planes de respuesta ante las emergencias generadas por un sismo futuro.

8. REFERENCIAS

American Concrete Institute - ACI (1963); Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI Standard 318-63, Detroit, USA.

American Concrete Institute - ACI (1971); Building Code Requirements for Reinforced Concrete, ACI Standard 318-71, Detroit, USA, 78p.

Applied Technology Council - ATC (1978); Tentative Provisions for the Development of Seismic Regulations for Buildings, ATC-3-06, Palo Alto, CA, USA, 505p.

Applied Technology Council - ATC (1985); Earthquake Damage Evaluation Data for California, Report ATC-13, Redwood City, California, USA.

Applied Technology Council - ATC (1996); Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Report ATC-40, Vol. 1, Redwood City, CA, USA.

Asociación Colombina de Ingeniería Sísmica, AIS (1981); Requisitos Sísmicos para Edificios – AIS 100-81, Bogotá, Colombia, 58p.

Asociación Colombina de Ingeniería Sísmica, AIS (1983); Requisitos Sísmicos para Edificaciones – AIS 100-83, AIS, Bogotá.

Asociación Colombina de Ingeniería Sísmica, AIS (1984a); Estudio General del Riesgo Sísmico de Colombia, Bogotá, 242p.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS (1984b); Código Colombiano de Construcción Sismo Resistente CCCSR-84, Bogotá: AIS.

Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS (1998); Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-98, Bogotá: AIS.

Asociación Colombina de Ingeniería Sísmica, Comité AIS - 300 (2009); Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, Bogotá, 226p.

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, AIS (2010); Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, Bogotá: AIS.
- Benedetti, D., Petrini, V. (1984); Sulla Vulnerabilità Di Edifici in Muratura: Proposta Di Un Metodo Di Valutazione, *L'industria delle costruzioni*, 149(1): 66-74.
- Bernardini, A., Gori, R., Modena, D. (1990); Application of Coupled Analytical Models and Experimental Knowledge to Seismic Vulnerability Analyses of Masonry Buildings in Engineering Damage Evaluation and Vulnerability Analysis of Building Structures, edited by A. Koridze, Omega Scientific, Oxon, U.K..
- Bhatty, A. (2010); Haiti Devastation Exposes Shoddy Construction, BBC News, (Online), (Cited: 9 Oct.2013), < <http://news.bbc.co.uk/2/hi/8460042.stm>>
- Bommer, J. (2003); Master of Science Course Soil Mechanics and Engineering Seismology, Department of Civil and Environmental Engineering Imperial College of Science, Technology & Medicine, London.
- Bonett, R.L. (2003); Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico de Edificios. Aplicación a Entornos Urbanos en Zonas de Amenaza Alta y Moderada, Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Braga, F., Dolce, M., Liberatore, D. (1982); A Statistical Study on Damaged Buildings and an Ensuing Review of the MSK-76 Scale, Proceedings of the seventh European Conference on Earthquake Engineering, Athens, Greece, pp. 431-450
- Bravo, A., Hewitt, V. (2006); Evaluación Post-Sísmica de Estructuras tras los Eventos de Haití y Chile, Coordinación de Asistencia Técnica de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias-DPAE, NOTICRETO, 10(102): 60-70.
- Calvi, G.M. (1999); A Displacement-Based Approach for Vulnerability Evaluation of Classes of Buildings *Journal of Earthquake Engineering*, 3(3): 411-438.
- Calvi, G.M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J.J., Restrepo-Vélez, L.F., Crowley, H. (2006); Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies Over the Past 30 Years, *ISET Journal of Earthquake Engineering*, Paper No. 472 43(3): 75-104.

- Cardona, O.D., Yamin, L.E. (1997); Seismic Microzonation and Estimation of Earthquake Loss Scenarios: Integrated Risk Mitigation Project of Bogotá, Colombia, Earthquake Spectra, 13(4): 795-814
- Carmona, O. (2012); Evaluación Experimental de la Resistencia de Pórticos de Hormigón Reforzado con Insuficiencia a Cortante, Tesis de Maestría, Universidad EAFIT, Medellín, Colombia.
- Centro de Naciones Unidas para el Desarrollo Regional (UNCRD) (2009); Reducción de la Vulnerabilidad de Niñas y Niños Escolares a los Terremotos, Naciones Unidas, 102p.
- Chavarría, D., Gómez, D. (2001); Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono Cañaveralejo, Escuela de Ingeniería Civil y Geomática, Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle, Santiago de Calí, Colombia.
- Consortio Microzonificación 2006, Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2007); Microzonificación y Evaluación del Riesgo Sísmico del Valle de Aburrá, Medellín: Prográficas Ltda, 184p.
- Consortio Evaluación de Riesgos Naturales (ERN) - Colombia (2004); Estudio Sobre Desastres Ocurridos en Colombia: Estimación de Pérdidas y Cuantificación de Costos, Bogotá, 224p.
- Corsanego, A., Petrini, V. (1990); Seismic Vulnerability of buildings, Proceedings of the SEISMED 3, Trieste, Italy.
- Cowen, T. (2010); Construction in Haiti, (Online), (Cited: oct.2013), <<http://marginalrevolution.com/marginalrevolution/2010/01/construction-in-haiti.html>>
- Crowley, H., Pinho, R., Bommer, J.J. (2004); A Probabilistic Displacement-Based Vulnerability Assessment Procedure for Earthquake Loss Estimation, Bulletin of Earthquake Engineering, 2(2): 173-219.

- Crowley, H., Pinho, R., Bommer, J.J., Bird, J.F. (2006); Development of a Displacement-Based Method for Earthquake Loss Assessment, Report 2006/01, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School), Pavia, Italy.
- D'Ayala, D., Speranza, E. (2002); An Integrated Procedure for the Assessment of Seismic Vulnerability of Historic Buildings, Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, U.K., Paper No. 561 (on CD).
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2005); Censo General 2005 - República de Colombia, Bogotá.
- Departamento Administrativo de Planeación - Alcaldía de Medellín (2011); Encuesta Calidad de Vida 2011, (En línea), (Citada: 7 feb.2013), <<http://www.medellin.gov.co/irj/portal/ciudadanos?NavigationTarget=navurl://6d39e618cf27dc5d27abf891c0a35b4a>>
- Dönmez, D., Pujol, S. (2005); Spatial Distribution of Damage Caused by the 1999 Earthquakes in Turkey, *Earthquake Spectra*, 21(1): 53-69.
- Espinosa, A. (2003); La Sismicidad Histórica en Colombia, En: *Revista Geográfica Venezolana*, 44(2): 271-283.
- FEMA (1999); HAZUS99 Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washintong, DC, USA.
- GNDT (1993); *Rischio Sismico Di Edifici Pubblici, Parte I: Aspetti Metodologici*, Proceedings of CNR-Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti, Roma, Italy.
- González, G., *Gestión de los Asentamientos Informales: Un Asunto de Política Pública*, En: VIII Seminario de Investigación Urbana y Regional (2009), Gobierno de Municipios y Aglomeraciones Urbanas, Bogotá, 55p.
- Gulkan, P., Aschheim, M., Spence, R. (2002); Reinforced Concrete Frame Building With Masonry Infills, En: Report of World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) and International Association of Earthquake Engineering (IAEE), Turkey, 64: 19p.

- Grünthal, G. (1998); Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie: Volume 15 – European Macroseismic Scale 1998, European Center for Geodynamics and Seismology, Luxemburgo.
- Hassan, A., Sözen, A. (1997); Seismic Vulnerability Assessment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes, En: ACI Structural Journal, 94(1): 31-19.
- Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (2013); Red Nacional de Acelerógrafos de Colombia, (En línea), (Citada: 8 feb.2013), <<http://seisan.ingegominas.gov.co/RNAC/>>
- Kappos, A.J., Ptilakis, K., Stylianidis, K.D. (1995); Cost-Benefit Analysis for the Seismic Rehabilitation of Buildings in Thessaloniki, Based on Hybrid Method of Vulnerability Assessment, Proceedings of the Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, France, 1: 406-413.
- Kappos, A.J., Stylianidis, K.D., Ptilakis, K. (1998); Development of Seismic Risk Scenarios Based on Hybrid Method of Vulnerability Assessment, Natural Hazards, 17(2): 177-192.
- Martínez, J., Parra, E., París, G., Forero, D., Bustamante, N., Cardona, O., Jaramillo, J. (1994); Los Sismos del Atrato Medio 17 y 18 de Octubre de 1992, En: Revista Ingeominas 2: 35-76.
- McWilliams, H., Griffin, D.T. (2013); A Critical Assessment of Concrete and Masonry Structures for Reconstruction After Seismic Events in Developing Countries, In Proceedings of the 2nd International Conference on Structures & Architecture (ICSA2013), Guimaraes, Portugal, 24-26p.
- Mejía, L.G., Alcocer, S. (2002a); Gravity Concrete Frame Buildings (Predating Seismic Codes), En: Report of World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute (EERI) and International Association of Earthquake Engineering (IAEE), Colombia, 11: 15p.
- Mejía, L.G., Alcocer, S. (2002b); Non-Engineered Unreinforced Brick Masonry Building, En: Report of World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute

(EERI) and International Association of Earthquake Engineering (IAEE), Colombia, 10: 14p.

Modena, D., Lourenco, P.B., Roca, P. (editors) (2005); Structural Analysis of Historical Constructions – Possibilities of Numerical and Experimental Techniques, Taylor and Francis, London, U.K.

Monsalve, H., Vargas, D.A. (2002); El Sismo de Armenia (Colombia) del 25 de Enero de 1999 “Un análisis telesísmico de ondas de cuerpo, observaciones de campo y aspectos sismotéctonicos”, En: Primer Simposio Colombiano de Sismología “Avances de la sismología en los últimos 20 años”, Bogotá, 22p.

O’Brien, P., Eberhard, M., Haraldsson, O., Irfanoglu, A., Lattanzi, D., Laurer, S., Pujol, S. (2011); Measures of the Seismic Vulnerability of Reinforced Concrete Buildings in Haití, Earthquake Spectra, 27(S1): 373-386.

Pinho, R., Bommer, J.J., Glaister, S. (2002); A simplified Approach to Displacement-Based Earthquake Loss Estimation Analysis, Proceedings of the 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, U.K., Paper No. 738 (on CD).

Pujol, S., Ramirez, J., Sarria, A. (1999); Coffee Zone, Colombia, January 25 Earthquake, observations on the Behavior of Low-Rise Reinforced Concrete Buildings, Online, (Cited: 7 oct.2013), <<http://nisee.berkeley.edu/lessons/colombia.pdf>>

Ramírez, J. E. (1975); Historia de los Terremotos en Colombia, 2 ed., Bogotá: Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 250p.

Ren, Y., Wen, R., Chen, G. (2012); Using Numerical Simulation Via Wave Finite Element Method to Study the Effect of the Station Surrounding on the Strong-Motion Recordings, Institute of Engineering Mechanics, China Earthquake Administration, Harbin, Recent Advances in CSIE 2011, LNEE 126, pp. 353-359.

Restrepo-Vélez, L.F., Magenes, G. (2004); Simplified Procedure for the Seismic Risk Assessment of Unreinforced Masonry Buildings, Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, Paper No. 2561 (on CD).

- Restrepo-Vélez, L.F. (2005); A Simplified Mechanics-Based Procedure for the Seismic Risk Assessment of Unreinforced Masonry Buildings; PhD Thesis, European School for Advanced Studies in Reduction of Seismic Risk (ROSE School), Pavia, Italy.
(on CD)h World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, Paper No. y Buildings, Proceedings of the 13th World Co
- Ridell, R., Wood, S., De la Llera, J. (1987); The 1985 Chile Earthquake: Structural Characteristics and Damage Statistics for the Building Inventory in Viña del Mar, Structural Research Series No. 354, University of Illinois, Urbana-Champaign, 265 pp.
- Sedra, N., Eberhard, M., Irfanoglu, A., Matamoros, A.B., Pujol, S., Haraldsson, O., Lattanzi, D., Lauer, S., Lyon, B., Messmer, J., Nasi, K., Rautenberg, J., Symithe, S., Douilly, R. (2010); The Haiti Earthquake Database, Network for Earthquake Engineering Simulation (database), Dataset, DOI:10.4231/D3P843W0H.
- Shiga, T., Shibata, A., Takahashi, T. (1968); Earthquake Damage and Wall Index of Reinforced Concrete Buildings, En: Proceedings, Tohoku District Symposium (en Japonés), Architectural Institute of Japan, 12: 29-32.
- Singhal, A., Kiremidjian, A. (1996); Method for Probabilistic Evaluation of Seismic Structural Damage, Journal of Structural Engineering, ASCE, 122(12): 1459-1467.
- Sözen, A. (2014); Surrealism in Facing the Earthquake Risk, En: Seismic Evaluation and Rehabilitation of Structures, 26: 1-13.
- Spence, R., Coburn, A., Pomonis, A. (1992); Correlation of Ground Motion with Building Damage: The Definition of a New Damage-Based Seismic Intensity Scale, Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering, Madrid, Spain, 1: 551-556.
- Structural Engineers Association of California – SEAOC (1974); Recommended Lateral Force Requirements and Commentary, 3rd Edition, SEAOC Seismology Committee, San Francisco, CA., USA.
- TUBITAK and NSF (teams of engineers) (2003); 1 May 2003 Bingöl Earthquake Engineering Report, Scientific and Technical Research Council of Turkey (TUBITAK) and U.S. National Science Foundation (NSF), 140p.

UNICEF (2010); Sobre el Terreno Con UNICEF Tras el Terremoto de Haití, Entrevista a Kent Page, (En línea), (Citada: 17 abr.2013), <http://www.unicef.org/spanish/infobycountry/haiti_54237.html>

U.S. Geological Survey (USGS) (2010a); Informe preliminar del sismo del 27 de febrero de 2010 en Chile, (En línea), (Citada: 15 Mar.2013), <http://neid.usgs.gov/neis/eq_depot/2010/eq_100227_tfan/neic_tfan_esp.html>

U.S. Geological Survey (USGS) (2010b); Informe preliminar del sismo del 12 de Enero de 2010 en Haití, (En línea), (Citada: 15 Mar.2013), <http://neid.usgs.gov/neis/eq_depot/2010/eq_100112_rja6/neic_rja6_esp.html>

U.S. Geological Survey (USGS) (2010c); Detalles del sismo del 12 de enero de 2010 en Haití, (En línea), (Citada: 21 agos.2013), <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010rja6/#details>>

U.S. Geological Survey (USGS) (2010d); 12 January 2010, Haití, Earthquake Shakemap us2010rja6, (En línea), (Citada: 10 oct.2013), <<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/shakemap/global/shake/2010rja6/>>

U.S. Geological Survey (USGS) (1999); Sismos del 17 de agosto y 12 de noviembre de 1999 en Turquía, (En línea), (Citada: 21 agos.2013), <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/historical_country.php#turkey>

Whitman, R.V., Reed, J.W., Hong, S.T. (1973); Earthquake damage probability matrices, Proceedings of the fifth World Conference on Earthquake Engineering, Rome, Italy, 2: 2531-2540.

WIRED IT (2012); Terremoto: La Escuela en Riesgo de Elisabetta Tola, (En línea), (Citada: 17 abr.2013), <<http://daily.wired.it/news/politica/2012/09/17/terremoto-scuola-rischio.html>>

Zhou, W., Zheng, W., Pujol, S. (2013); Seismic Vulnerability of Reinforced Concrete Structures affected by the 2008 Wenchuan Earthquake, En: <<https://nees.org/warehouse>>, 21p.

ANEXOS

A. ANEXO A - FORMATO TRABAJO DE CAMPO

En esta sección se presenta el formato de recolección de información usado en campo. Con el objetivo de presentarlo en este trabajo de investigación el formato se ha dividido en dos hojas

A.1 FORMATO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN HOJA 1

N ○ FECHA _____ EQUIPO _____

VISTA EN PLANTA

Lista de Chequeo

Vista planta Voladizos Dim. Col. Dim. M. CR. Dim. M. NR.

A.2 FORMATO DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN HOJA 2



Edificio _____

Dirección _____

Año de Construcción _____

N° Pisos sobre nivel del suelo _____

Tipo de cubierta _____

Columnas cortas Sí NO

Fotos _____

ESTADO DE LA ESTRUCTURA

Calidad Materiales Buena Regular Mala

Humedades Asen. Estructural

Calidad Construcción Buena Regular Mala

Presencia de fisuras y/o agrietamientos
Muros Vigas Columnas

Estado cubierta Buena Regular Mala

Inclinación elementos estructurales
Muros Vigas Columnas

Instalación de redes Buena Regular Mala
(Eléctricas, Hidráulicas, gas, etc)

OBSERVACIONES

Abreviaturas

Dim. Dimensión	M. Muros	NR. No Reforzada
Col. Columnas	CR. Concreto Reforzado	Asen. Asentamiento

B.ANEXO B - GUÍA PARA EL MANEJO DEL FORMATO PARA LA RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN EN CAMPO

Con el formato propuesto se pretende recolectar la información necesaria para la aplicación del método índice prioritario de Hassan y Sozen (1997) para generar un inventario del estado estructural actual de las edificaciones. A continuación se presenta una descripción de cada uno de los puntos que conforman el formato para el trabajo de campo.

B.1 VISTA EN PLANTA

El formato cuenta con una cuadrícula para dibujar a mano alzada la configuración estructural en planta de las edificaciones, en el cual se anotan las dimensiones de las secciones transversales de las columnas, muros de mampostería simple y muros de concreto reforzado, así como también las dimensiones entre columnas y muros, que finalmente definen el área de piso de las estructuras. La Figura B.1 presenta un ejemplo de un esquema realizado en campo de una edificación de la institución educativa Alcaldía de Medellín.

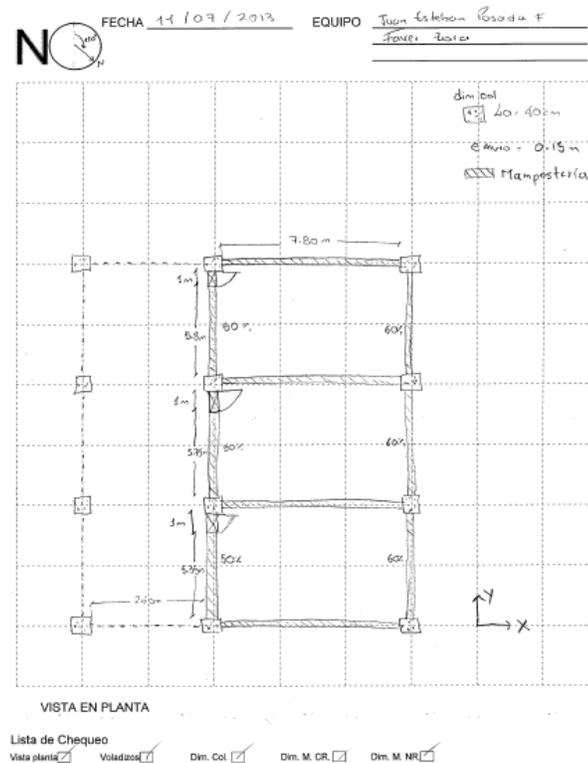


Figura B.1 Vista en planta – esquema de edificación

B.2 EDIFICACIÓN

Nombre de la edificación; en caso de haber más de una estructura se deberán denominar la estructura de acuerdo a su uso principal. Ejemplo: “Bloque Administrativo”.

B.3 DIRECCIÓN Y AÑO DE CONSTRUCCIÓN

Dirección de la edificación y el año en la que ésta fue construida.

B.4 NÚMERO DE PISOS SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO

Se especifica el número de pisos por encima del nivel del suelo, no se tienen en cuenta niveles por debajo del suelo, como sótanos. Nota: si la cubierta es losa de concreto, cuenta como un piso. De ser metálica cuenta como medio piso, si es una cubierta de madera con teja de barro se tendrá en cuenta un 35% del área de cubierta o un 30% si es una cubierta con teja de asbesto cemento. La Figura B.2 presenta un ejemplo de los niveles de piso por encima del nivel del terreno.



Figura B.2 Niveles de piso por encima del nivel del terreno

B.5 TIPO DE CUBIERTA (MATERIAL)

Tipo de material en que está hecha la cubierta, si es una losa de concreto reforzado (aligerada, maciza); una cubierta de madera (cerchas de madera, elementos de madera); una cubierta metálica (cerchas metálicas, perfiles metálicos). Las cubiertas no cuentan cómo niveles de piso excepto si son de losa de concreto; si la cubierta es de madera con teja de barro o asbesto cemento se tendrán en cuenta porcentajes de área de piso como se indica en el subcapítulo B.4, en caso de que la cubierta sea una cubierta metálica, contará como medio piso. La Figura B.3 presenta los diferentes tipos de cubiertas.



Cubierta losa de concreto reforzado ⁽¹⁾



Cubierta losa de concreto reforzado ⁽¹⁾



Cubierta Cerchas metálicas ⁽¹⁾



Cubierta metálica (perfiles metálicos) ⁽¹⁾



Cubierta con teja de asbesto cemento



Cubierta de madera viguetas y vigas ⁽²⁾

Figura B.3 Tipos de Cubierta

⁽¹⁾ Sedra *et al.* (2010)

⁽²⁾ (<http://cubiertasugena.es/index.php/cubiertas-de-madera>)

B.6 COLUMNAS CORTAS

Es común en sistemas aporticados (apartamentos y escuelas) que se interrumpen los muros entre columnas para colocar ventanas o dejar espacios vacíos, y que estos muros no estén separados de las columnas. Cuando la estructura es excitada por un sismo el muro restringe el movimiento de la columna y ésta sufre mayores deformaciones en la porción libre (sin muro). Lo anterior hace que la columna tenga esfuerzos de cortante altos en los extremos de la porción libre y si no fue diseñada para esto la columna sufrirá deformaciones por cortante importantes en dichos extremos que pueden llevar a su falla. La Figura B.4 presenta ejemplos de columnas cortas de algunas edificaciones.



Columnas cortas



Columnas cortas



Columnas cortas



Columnas cortas

Figura B.4 Columnas cortas (Sedra et al., 2010)

B.7 FOTOS

Nombre de la persona encargada de realizar el registro fotográfico.

B.8 ESTADO DE LA ESTRUCTURA

Se pretende identificar el estado actual de la estructura verificando la calidad de los materiales, calidad en la construcción, presencia de fisuras y/o agrietamientos, humedades, asentamientos de la estructura, inclinación y desplome de los elementos estructurales y las instalaciones de redes dentro de la estructura.

B.8.1 Calidad de los materiales

A continuación se describen cada una de las características para que un material clasifique con una calidad buena, regular o mala.

Buena: La apariencia de los materiales muestra resistencia, durabilidad y uniformidad. Los elementos de concreto parecen tener un agregado con un tamaño máximo adecuado; no hay presencia de desprendimientos en el concreto, el concreto presenta una consistencia adecuada, la unión agregado y cemento es compacta y resistente. Se evidencia que en la edificación se realiza una limpieza y mantenimiento periódico de los materiales que conforman los elementos de la estructura.

El concreto no presenta cambios bruscos de color, no se presentan eflorescencias, no existen problemas de humedad. Las unidades de bloque de mampostería son uniformes en aspecto y apariencia de resistencia y durabilidad. El mortero de pega usado para la unión de los bloques de mampostería es uniforme y compacto, une los bloques de forma adecuada. La Figura B.5 muestra imágenes de materiales con buena calidad.

Regular: La uniformidad de los materiales no es clara, la apariencia de los materiales indican una resistencia y durabilidad no muy buena. Los elementos de concreto tienen o presentan algunos desprendimientos en algunos elementos estructurales de la edificación. Al observar los elementos de concreto, estos no dan sensación de seguridad en cuanto a la estabilidad de la estructura. Se observan cambios bruscos del color en algunos elementos estructurales. En algunas zonas se presentan eflorescencias en el concreto. Algunas unidades de bloque de mampostería tienen otra apariencia, lo cual hace que los muros no se vean uniformes. Algunos muros presentan morteros de pega que no tienen consistencia y por lo tanto no permiten una correcta adherencia en unidades de bloque de mampostería. La Figura B.6 muestra imágenes de materiales de regular calidad.



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)

Figura B.5 Calidad buena de los materiales

(1) (<https://sites.google.com/site/buildingart1/>)

(2) (<http://ladrillos.es/como-se-fabrican-los-ladrillos/>)

(3) (http://es.123rf.com/photo_5887601_muro-de-bloques-de-hormigon-con-la-dispersion-de-la-iluminacion.html)

(4) (http://www.construmatica.com/construpedia/Cerramientos_Exteriores)

(5) (<http://reenanalvess.blogspot.com/2010/04/concreto-armado-ou-estrutural.html>)

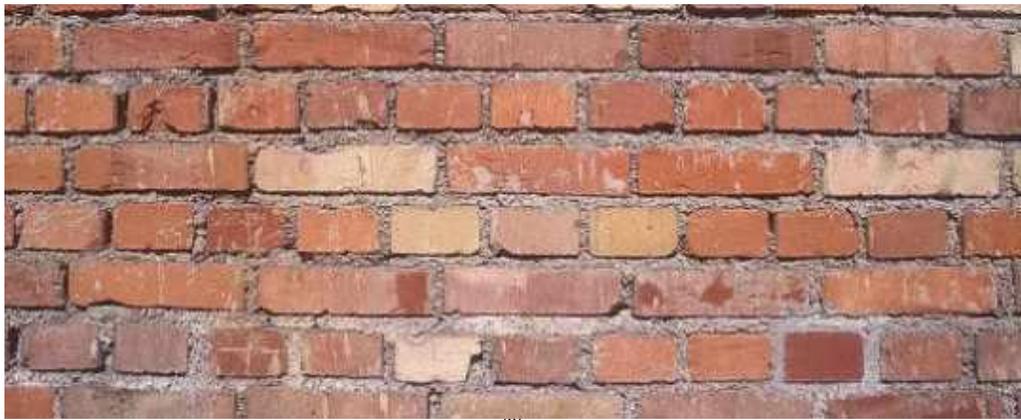
(6) (<http://ciudaris.com/blog/>)



(1)



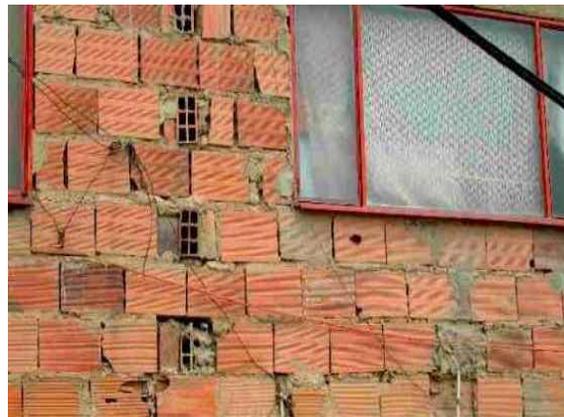
(2)



(3)



(4)



(5)

Figura B.6 Calidad regular de materiales

- (1) (<https://www.patologíaconstruccion.net/2012/11/rehabilitacion-de-fabricas-de-ladrillo-con-deficiencia-por-estado-del-mortero/>)
- (2) Mejía *et al.* (2002)
- (3) <http://www.elnuevodiario.com.ni/nacionales/249736>
- (4) Cortesía del ingeniero Luis G. Aycardi

Mala: Los materiales no presentan ninguna uniformidad, los elementos aparentan tener una baja resistencia, la vida útil de los materiales parece haber llegado a su final. Los elementos han sido reutilizados de otras obras de construcción o su nivel de desgaste y deterioro es tan alto que la vida útil de estos materiales es muy corta. Los materiales seleccionados para la construcción no tienen las propiedades físicas y mecánicas mínimas para el tipo de uso dado y para las condiciones ambientales del sitio de construcción. Se observan cambios bruscos de color en gran parte de los elementos estructurales de la edificación, los elementos de concreto presentan eflorescencia en diversas zonas. Los bloques de mampostería no presentan uniformidad y parecieran no tener muy buena resistencia, el mortero de pega no presenta la consistencia necesaria para garantizar una correcta unión entre bloques de mampostería. La Figura B.7 muestra imágenes de materiales de mala calidad y la Figura B.8 presenta algunos ejemplos de eflorescencias en el concreto.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura B.7 Calidad mala de materiales

(1) (2) Cortesía del ingeniero Luis G. Aycardi

(3) (4) Mejía *et al.* (2002)



Puente de la 4 sur - Medellín

Figura B.8 Eflorescencias en el concreto

B.8.2 Calidad de la construcción

Buena: La apariencia de los elementos estructurales muestra firmeza y resistencia, el color de los elementos de concreto es uniforme y se observa un buen vibrado del concreto, no se observan vacíos en la parte externa del concreto, los elementos estructurales (vigas, columnas y muros) presentan una correcta verticalidad y horizontalidad, los muros presentan un correcto aplome y escuadra. Los pisos de la estructura tienen un correcto nivel. La estructura no presenta ningún tipo de inclinación a causa de malos procesos constructivos.

Los muros de mampostería, el mortero de pega y los bloques forman una unidad estructural sólida, de apariencia resistente. No existen elementos estructurales con exposición de refuerzo. Visualmente no se observan procesos avanzados de corrosión del acero. No se observan irregularidades en las secciones de los elementos estructurales. La Figura B.9 muestra imágenes de construcciones de buena calidad.

Regular: En algunas zonas la apariencia de los elementos estructurales pareciera indicar bajas resistencias de los materiales y poca firmeza del conjunto estructural. Se observa la presencia de vacíos u orificios pequeños en algunos elementos de concreto reforzado, lo cual permite la exposición del agregado del concreto reforzado con facilidad, lo que da indicios del bajo control durante la construcción. Se observa el desplome y la inclinación de algunos elementos estructurales (vigas, columnas y muros). Los muros de mampostería en algunas zonas presentan la ausencia del mortero de pega entre unidades de bloque permitiendo ver a través de ellos. No se observa algún patrón de construcción claro para la

ubicación de los bloques en los muros de mampostería. Algunas secciones de concreto reforzado presentan irregularidades.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura B.9 Calidad buena de construcción

(1) (<http://forum.ecivilnet.com/about9790.html>)

(2) (<http://www.king.com.py/galeria-fotos-premoldeados.html>)

(3) (<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=371276&page=8>)

(4) (<http://www.skyscrapercity.com/showthread.php?t=785050&page=5>)

Algunos elementos presentan procesos de corrosión avanzados. La edificación no está terminada en su totalidad, algunos elementos quedaron con el acero de refuerzo expuesto y sin ningún tipo de protección ante aguas lluvias y la intemperie. La Figura B.10 muestra imágenes de construcciones de regular calidad.



Figura B.10 Calidad regular de construcción

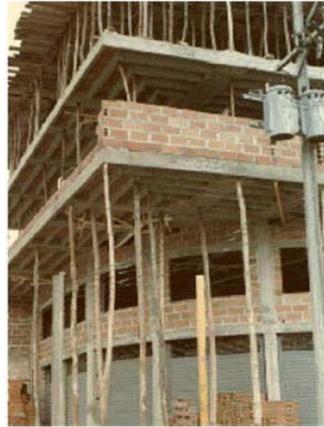
Mala: Una mala apariencia en un gran porcentaje de los elementos estructurales, que indican bajas resistencias de los materiales y dejan una sensación de peligro estructural que presenta la edificación, ya que los elementos no parecieran estar en equilibrio. Se observan desprendimientos de agregado de los elementos de concreto. No existe una unión correcta en las unidades de mampostería debido al mal uso o al no uso del mortero de pega. Una gran cantidad de elementos estructurales no conservan una correcta verticalidad y horizontalidad (falta de control ingenieril y una correcta interventoría). Se presentan irregularidades en las secciones de los elementos estructurales.

La edificación no está terminada en su totalidad, algunos elementos quedaron con el acero de refuerzo expuesto y sin ningún tipo de protección ante aguas lluvias y la intemperie. En algunos casos se observan recubrimientos en los elementos de concreto que son muy pequeños y en otros casos son demasiado grandes.

Se observan manchas en el concreto, eflorescencias, cambios de color brusco en los elementos de concreto y dentro de las unidades de mampostería, se observa corrosión y desgaste del acero. La Figura B.11 muestra imágenes de construcciones de mala calidad y la Figura B.12 presenta algunos ejemplos de corrosión del acero.



(1)



(2)



(3)



Refuerzo expuesto⁽⁴⁾

Figura B.11 Calidad mala de construcción

⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾ Mejía *et al.* (2002)

⁽⁴⁾ <http://www.imcyD.com/laboratorio/asesoriated.htm>



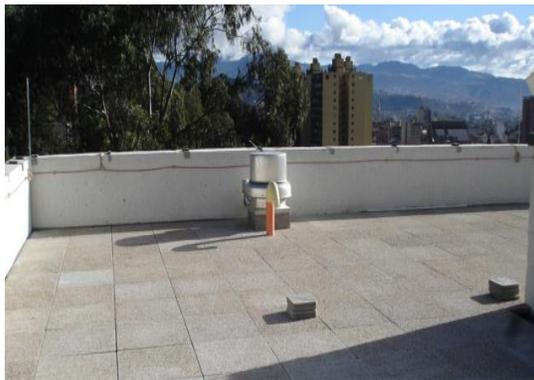
(1)

Figura B.12 Corrosión del acero

⁽¹⁾ <http://civilgeeks.com/2011/11/02/evaluacion-de-la-corrosion-en-las-estructuras-de-concreto-armado-i/>

B.8.3 Estado de la Cubierta

Buena: Una correcta disposición de los elementos que componen la cubierta, las cargas de cubierta se encuentran correctamente distribuidas. La cubierta se encuentra correctamente impermeabilizada ante la ocurrencia de aguas lluvias. No se observa ningún tipo de desgaste o pérdida de resistencia de los materiales de la cubierta (madera, perfiles metálicos, concreto reforzado, etD.). La Figura B.13 presenta ejemplos de calidad buena para las cubiertas.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura B.13 Estado bueno de la cubierta

(1) (<http://www.fibrit.com/productos-prefabricados/terrazas/pisos-flotantes-nivelables/pisos-cuadrados-nivelables/>)

(2) (<http://blog.tumanitas.com/fibroemento-riesgos-y-propiedades/>)

(3) (<http://ciudadsantander.olx.es/porches-pergolas-cenadores-cubiertas-de-madera-cantabria-iid-25052113>)

(4) (<http://www.archiexpo.es/prod/profilsider/sistemas-cubiertas-metalicas-paneles-aislantes-60424-689944.html>)

Regular: Algunos elementos de la cubierta de acuerdo a su disposición y configuración estructural parecen estar sobrecargados. Se observan filtraciones de agua en algunos sectores, (problemas con los sistemas de impermeabilización implementados en obra). Algunos elementos estructurales presentan desgaste o pérdida de resistencia (el agua ha entrado en contacto con los elementos), algunos elementos pueden ser muy esbeltos y flexibles. La Figura B.14 presenta ejemplos de calidad regular para las cubiertas.



(1)



(2)

Figura B.14 Estado regular de la cubierta

⁽¹⁾ <http://www.onarquitectos.com/?cat=173>

⁽²⁾ http://www.demecanica.com/Consultas/E60_EstCons.htm

Mala: No hay una correcta configuración de los elementos que componen la cubierta de la estructura. Falta de apoyos que garanticen la estabilidad de la losa de concreto reforzado. Las luces entre apoyos son mayores de 4.0 metros. El sistema de impermeabilización no fue correctamente instalado o simplemente no se realizó. Hay presencia de filtración de agua en el lugar. Los elementos se observan desgastados y con pérdida de resistencia. Los

elementos no son lo suficientemente rígidos para soportar las cargas de cubierta. La Figura B.15 presenta ejemplos de calidad mala para las cubiertas.



Figura B.15 Estado malo de la cubierta

(1) (2) (<http://grupoias.es/blog/trabajos-grupoias/proyecto-rehabilitacion-cubierta-esquema-patologias/>)

(3) (<http://www.cundinamarca.gov.co/sicied/>)

(4) (http://decoracion.facilissimo.com/foros/vivienda-saludable/vamos-a-contar-con-un-experto-en-cerramientos_662523.html)

B.8.4 Instalación de Redes

Buena: las redes eléctricas, hidráulicas, gas, etD. se instalaron de forma correcta, adosadas al sistema estructural, sin interrumpir con el refuerzo de los elementos estructurales o afectando las dimensiones de las secciones de elementos estructurales. La Figura B.16 presenta instalaciones de redes con una calidad buena.

Regular: En algunas zonas se observa la mala instalación de redes que intervienen con la continuidad de los elementos estructurales, ocasionando reducciones de secciones transversales de elementos y la suspensión del refuerzo.



(1)



(2)

Figura B.16 Calidad buena instalación de redes

(1) <http://consorciodeingenieria.com/pozo-a-tierra-mantenimiento-protocolo-pruebas.html>

(2) <http://g2-arquitectos.blogspot.com/>

Mala: Mala instalación de las redes en toda o casi toda la edificación, ocasionando problemas con la estabilidad de los elementos estructurales y de toda la construcción. La Figura B.17 presenta instalaciones de redes con una calidad mala.



(1)



(2)



(3)



(4)

Figura B.17 Calidad mala de instalación de redes

(1) (2) Mejía *et al.* (2002)

(3) (4) Cortesía del ingeniero Luis G. Aycardi

B.8.5 Asentamiento estructural

Agrietamientos en el nivel inferior que se encuentra en contacto con el terreno, presencia de desniveles que inclinan la estructura, asentamiento del terreno (asentamiento diferencial) que ocasiona agrietamientos diagonales en los muros, estos agrietamientos se ven reflejados de igual forma en las losas de contrapiso. La Figura B.18 presenta ejemplos de diferentes asentamientos diferenciales.

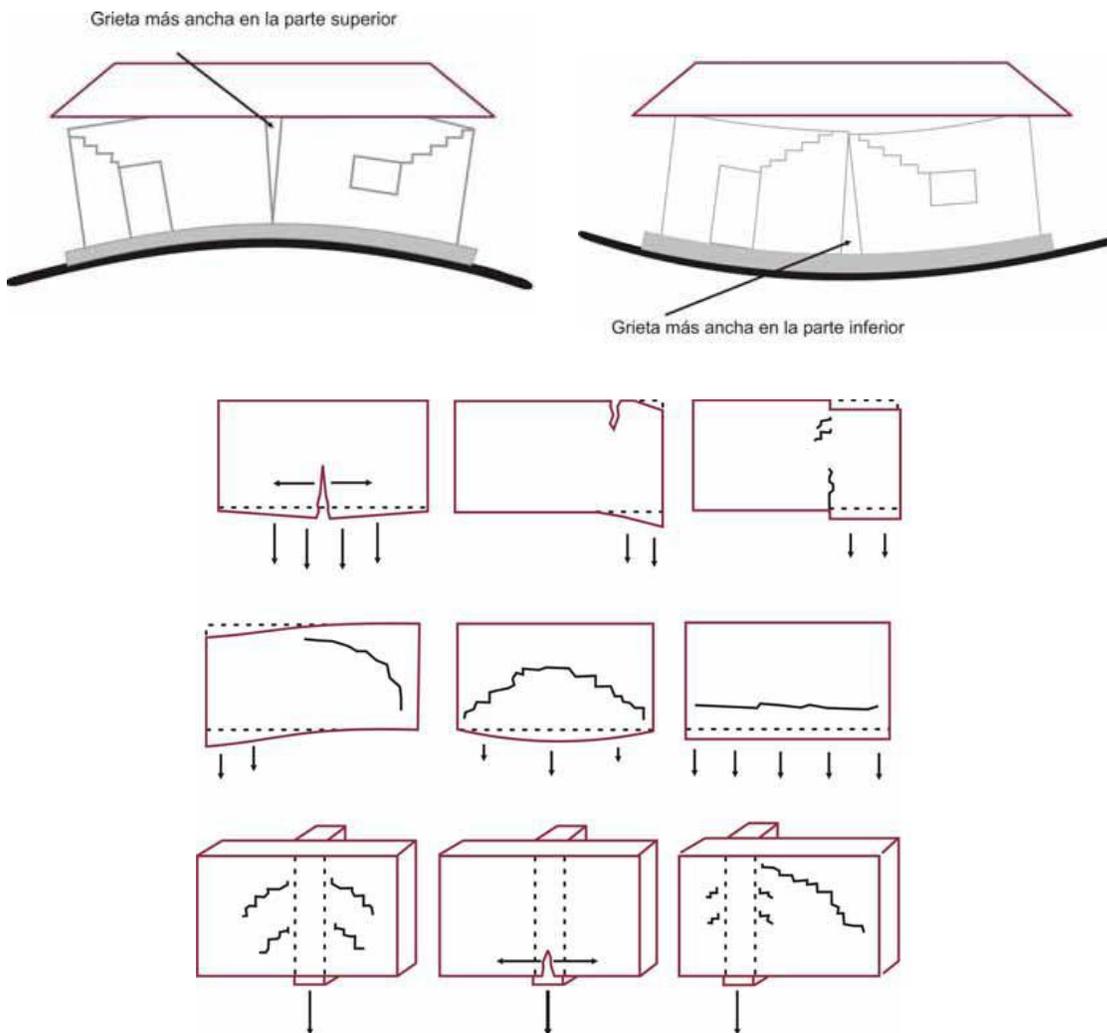


Figura B.18 Asentamiento diferencial de la fundación
(<http://jorgemartinezlarios.com/origen-de-fisuras-y-grietas-en-una-construccion-segunda-parte/#.UkoMEoZSjpU>)

B.8.6 Humedades

Si existen o no humedades en la edificación.

B.8.7 Presencia de fisuras y/o agrietamientos

Si se observan fisuras y/o agrietamientos en muros, vigas o columnas.

B.8.8 Inclinación elementos estructurales

Revisar la verticalidad y horizontalidad de los elementos (muros, vigas y columnas).

C.ANEXO C – INFORMACIÓN RECOLECTADA EN CAMPO

Los formatos para la recolección de información que fueron diligenciados en campo se presentan en el archivo: ANEXO C – INFORMACIÓN RECOLECTADA EN CAMPO.pdf.

D. ANEXO D – INFORME RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ÍNDICE PRIORITARIO PARA CADA ESTRUCTURA

A Continuación se presenta un resumen de los resultados del trabajo de investigación para cada una de las estructuras que conforman las instituciones educativas de las ciudades de Medellín, Itagüí y Sabaneta. El informe incluye las observaciones realizadas en los trabajos de campo y un registro fotográfico de cada edificación. Las categorías del estado estructural: buena, regular y mala se explican con detalle en el anexo B. El índice prioritario presentado para cada una de las estructuras en este resumen corresponde al calculado con el índice de muro del criterio 1. Las estructuras clasificadas con y sin prioridad alta obedecen a las clasificaciones establecidas en la Tabla 6.6.

D.1 INSTITUCIÓN EDUCATIVA LA SALLE DE CAMPO AMOR

D.1.1 Bloque aporticado

Tabla D.1 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 65B # 4-49			
Comuna: 15			
Años de construcción: 50 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.06			
Índice Prioritario (%): 0.06			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Se observan deflexiones, desgaste y falta de mantenimiento en la estructura de la cubierta (alfardas y correas), los elementos están sobrecargados. Existen ampliaciones del bloque construidas con mampostería simple, se observa un apoyo inadecuado de los elementos estructurales. Desagues y sistemas de recolección de aguas obstruidos, hay falta de mantenimiento. En las instalaciones de redes se evidencia la falta de mantenimiento. Las columnas no continúan al segundo nivel. Mala construcción de las escaleras alternas ubicadas al lado de la cocina, en éstas se observan diferencias de nivel, las huellas presentan inclinación y no tienen dimensiones mínimas. Estanqueamiento de agua en el jardín al lado de las escaleras alternas.			



Bloque aporticado



Bloque aporticado



Jardín – Estanqueamiento de agua



Jardín – Cubierta sobrecargada



Sistemas de desagüe obstruidos



Escaleras con mala calidad de construcción y de materiales

Figura D.1 Registro fotográfico – bloque aporticado – La Salle de Campo Amor

D.2 INSTITUCIÓN EDUCATIVA OCTAVIO HARRY

D.2.1 Bloque 1 – Aula de preescolar

Tabla D.2 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 17 # 73-37			
Comuna: 16			
Años de construcción: 25 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.22			
Índice Prioritario (%): 0.22			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La cubierta se encuentra en un estado regular. Se observa falta de mantenimiento del sistema de recolección de aguas lluvias. Las columnas de 0.4x0.5 m se construyeron en el 2005 con el objetivo de reemplazar un muro que demolieron, adicionalmente existe una viga metálica sección I entre las dos columnas. Hay presencia de humedades y algunas fisuras en muros de mampostería.			



Bloque 1



Aula de preescolar



Viga metálica entre columnas



Junta entre bloques 1 y 2

Figura D.2 Registro fotográfico – bloque 1 – Octavio Harry

D.2.2 Bloque 2 – Sala de profesores

Tabla D.3 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 17 # 73-37			
Comuna: 16			
Años de construcción: 25 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.32			
Índice Prioritario (%): 0.32			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La cubierta del bloque 2 se encuentra en un mejor estado que la cubierta del bloque 1. Se observa falta de mantenimiento del sistema de recolección de aguas lluvias. Hay presencia de humedades.			



Bloque 2



Sala de profesores



Bloque 2



Humedades

Figura D.3 Registro fotográfico – bloque 2 – Octavio Harry

D.3 INSTITUCIÓN EDUCATIVA TULLIO OSPINA

D.3.1 Bloque aporticado

Tabla D.4 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 51D # 60-38			
Comuna: 10			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Juan E. Posada Franco			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.32			
Índice Prioritario (%): 0.34			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Presencia de humedades y posible carbonatación en algunas zonas de la estructura que están expuestas a la intemperie (vigas perimetrales). Viga eje 2° está apoyada 10 cm sobre el muro (ver formato de campo). Se presentan fisuras en algunas vigas y columnas. Segregación de material en algunas columnas. En general la estructura parece estar en buen estado y tener mantenimiento. La cubierta del bloque antiguo está en buen estado. La cubierta del bloque evaluado tiene un caballete (sección en I metálica), hay vigas de concreto reforzado de cubierta que soportan la cubierta de madera. Se presenta una deflexión importante en una de las vigas perimetrales en la zona de los patios.			



Bloque aporticado



Área de escaleras

Figura D.4 Registro fotográfico – bloque aporticado – Tulio Ospina



Delexión en viga (deterioro humedades y fisuras)



Caballote Sección metálica

Figura D.4 Registro fotográfico – bloque aporricado – Tulio Ospina (continuación)

D.4 INSTITUCIÓN EDUCATIVA LUCRECIO JARAMILLO VÉLEZ

D.4.1 Bloque principal

Tabla D.5 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – estructura principal

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 79 #38-59			
Comuna: 11			
Años de construcción: 52 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columa (%): 0.18			
Índice Prioritario (%): 0.21			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Al parecer la estructura está compuesta por tres bloques que fueron luego unidos entre sí a medida que fueron realizando cada una de las ampliaciones. No se ve una continuidad y homogeneidad en cuanto al sistema constructivo, forma y propiedades de los materiales utilizados. Se observa en algunas zonas la presencia de humedades que deterioran el estado de la estructura. Se observan algunas fisuras en algunos muros de la edificación.			



Bloque – entrada principal



Entrada principal de la Institución



Bloque zona posterior



Fisura en muro



Piso débil



Instalaciones – falta de mantenimiento

Figura D.5 Registro fotográfico – estructura principal – Lucrecio Jaramillo Vélez

D.5 INSTITUCIÓN EDUCATIVA CONCEJO DE MEDELLÍN

D.5.1 Bloque administrativo

Tabla D.6 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #47ª-65			
Comuna: 12			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.18			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La fachada del bloque aparentemente fue construída años después de la construcción inicial. Hay presencia de humedades. En general el bloque presenta un buen estado. No se observan peligros estructurales.			



Bloque administrativo



Bloque administrativo



Presencia de humedades



Fijación de la fachada a la estructura principal

Figura D.6 Registro fotográfico – bloque administrativo – Concejo de Medellín

D.5.2 Bloque 1 Aulas de clase – nivel 1 capilla

Tabla D.7 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #47ª-65			
Comuna: 12			
Años de construcción: 10 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.15			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: En el muro de mampostereía del taco de escaleras se observa fragilidad. Presencia de fisuras, la escalera se encuentra en la unión de los dos bloques (administrativo y bloque 1). Humedades en el segundo nivel.			



Bloque 1



Piso Débil



Junta entre bloques – zona de escaleras



Humedades

Figura D.7 Registro fotográfico – bloque 1 – Concejo de Medellín

D.5.3 Bloque 2 Cocina y comedor – Aulas de clase

Tabla D.8 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #47ª-65			
Comuna: 12			
Años de construcción: 10 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columa (%): 0.10			
Índice Prioritario (%): 0.13			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Fisuras en muros de cocina. Presencia de humedades.			



Bloque 2



Cocina - comedor



Presencia de humedades



Bloque 2

Figura C 8 Registro fotográfico – bloque 2 – Concejo de Medellín

D.5.4 Bloque 3 Auditorio – cafetería

Tabla D.9 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 3

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #47ª-65			
Comuna: 12			
Años de construcción: 45 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.71			
Índice Prioritario (%): 0.71			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Instalaciones afectadas por humedades. Presencia de humedades y eflorescencias.			



Bloque 3



Altura de piso mayor de 3 m



Presencia de humedades y eflorescencias



Cafetería

Figura D.9 Registro fotográfico – bloque 3 – Concejo de Medellín

D.5.5 Bloque 4 Zona común – área principal de escaleras

Tabla D.10 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 4

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #47ª-65			
Comuna: 12			
Años de construcción: 10 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.26			
Índice Prioritario (%): 0.28			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Instalaciones afectadas por humedades. Presencia de humedades y eflorescencias.			



Bloque 4



Zona principal de escaleras



Piso débil



humedades

Figura D.10 Registro fotográfico – bloque 4 – Concejo de Medellín

D.5.6 Bloque 5 Edificio acceso principal de la institución educativa

Tabla D.11 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 5

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #47ª-65			
Comuna: 12			
Años de construcción: 5 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.20			
Índice Prioritario (%): 0.20			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Presenta muchas humedades en la junta entre bloques, no hay un correcto sistema de drenaje de aguas lluvias. Los muros son de bloque de concreto.			



Bloque 5



Acceso principal a la institución



Humedades entre bloques 3 y 5



Cubierta de concreto reforzado

Figura D.11 Registro fotográfico – bloque 5 – Concejo de Medellín

D.5.7 Bloque 6 Edificio acceso principal continuo al bloque 5

Tabla D.12 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 6

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #47ª-65			
Comuna: 12			
Años de construcción: 5 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.15			
Índice de Columa (%): 0.19			
Índice Prioritario (%): 0.34			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Presenta muchas humedades en la junta entre bloques, no hay un correcto sistema de drenaje de aguas lluvias. Los muros son de bloque de concreto.			



Bloque 6



Bloque 6



Cubierta de concreto reforzado



humedades

Figura D.12 Registro fotográfico – bloque 6 – Concejo de Medellín

D.6 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO – SEDE BELÉN

D.6.1 Bloque 1 Aulas – sistemas

Tabla D.13 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1

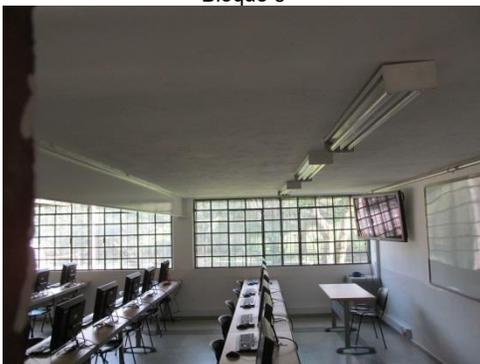
Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 10 #72-52			
Comuna: 16			
Años de construcción: 25 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.19			
Índice Prioritario (%): 0.19			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Discontinuidad de las secciones de columnas circulares en altura (cambio de sección y de eje principal). Cubierta en buen estado. Ya que las aulas de clase tienen una luz grande, existe una viga metálica sección en I en todo el centro de la luz, para controlar deflexiones máximas.			



Bloque 5



Viga metálica



Aula de sistemas



Cambio de la sección transversal columna y de eje

Figura D.13 Registro fotográfico – bloque 1 – IU Pascual Bravo Sede Belén

D.6.2 Bloque 2 Laboratorio de química

Tabla D.14 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 10 #72-52			
Comuna: 16			
Años de construcción: 25 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.20			
Índice Prioritario (%): 0.20			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: El voladizo del bloque es muy grande, se alcanza a observar una deformación importante. Sección de viga inapropiada.			



Bloque 2



Voladizo



Laboratorio de química



Bloque 2

Figura D.14 Registro fotográfico – bloque 2 – IU Pascual Bravo Sede Belén

D.7 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA PASCUAL BRAVO – SEDE ROBLEDO

D.7.1 Bloque 3C

Tabla D.15 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 3C

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 73 #73ª-226			
Comuna: 7			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.35			
Índice Prioritario (%): 0.37			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La mayor parte de muros divisorios en el primer nivel son de Drywall.			



Bloque 3C



Área de escaleras



Columna corta



Bloque 3C

Figura D.15 Registro fotográfico – bloque 3C – IU Pascual Bravo Sede Robledo

D.7.2 Bloque 2

Tabla D.16 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 73 #73ª-226			
Comuna: 7			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.01			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.17			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Hay fisuras en algunos muros en el marco de las puertas. Humedades por filtración en la cubierta.			



Bloque 2



Bloque 2



Fisuras en el marco de las puertas



Cubierta de madera con teja de barro

Figura D.16 Registro fotográfico – bloque 2 – IU Pascual Bravo Sede Robledo

D.7.3 Bloque 5

Tabla D.17 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 5

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 73 #73ª-226			
Comuna: 7			
Años de construcción: 17 años			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.15			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: El acabado del concreto en algunas columnas perimetrales no es óptimo, presencia de humedades que afectan el concreto. En el ultimo piso hay un área en estructura de acero (piso metálico). Hay planos de la estructura. El nivel 4 tiene menor área de piso (irregularidad en altura)			



Bloque 5



Losa del cuarto nivel con menor área



Deterioro del concreto



Piso en estructura metálica

Figura D.17 Registro fotográfico – bloque 5 – IU Pascual Bravo Sede Robledo

D.8 INSTITUCIÓN EDUCATIVA CRISTÓBAL COLÓN

D.8.1 Bloque aporricado

Tabla D.18 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporricado

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 38 #92-93			
Comuna: 16			
Años de construcción: 13 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.01			
Índice de Columa (%): 0.21			
Índice Prioritario (%): 0.22			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Las escaleras están separadas estructuralmente del bloque analizado. Se observa un color negro en algunas vigas de concreto, es posible que sean reacciones químicas con el ambiente (humedad y aguas lluvias). Se observaron eflorescencias en algunas zonas.			



Bloque aporricado



Junta en zona de escaleras - eflorescencias



Color negro en el concreto de elementos estructurales



Cubierta de madera con teja de barro

Figura D.18 Registro fotográfico – bloque aporricado – Cristóbal Colón

D.9 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ALCALDÍA DE MEDELLÍN

D.9.1 Bloque administrativo

Tabla D.19 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columa (%): 0.17			
Índice Prioritario (%): 0.20			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Las escaleras en caracol presentan un grado alto de inestabilidad, es una estructura flexible y presenta agrietamiento y eflorescencias.			



Bloque administrativo



Agrietamiento escaleras



Segundo nivel bloque administrativo



Bloque administrativo

Figura D.19 Registro fotográfico – bloque administrativo – Alcaldía de Medellín

D.9.2 Bloque 1 Fachada principal de la institución - Aulas

Tabla D.20 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 1

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.01			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.17			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Se observa la falta de mantenimiento y falta de atención a los daños ocasionados por el agua. Se observan juntas entre bloques.			



Bloque 1



Junta entre bloques



Segundo nivel bloque 1



Tercer nivel bloque 1

Figura D.20 Registro fotográfico – bloque 1 – Alcaldía de Medellín

D.9.3 Bloque de escaleras entre bloques 1 y 2

Tabla D.21 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque escaleras

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.05			
Índice de Columa (%): 0.22			
Índice Prioritario (%): 0.27			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: El bloque de escaleras presenta humedades, tiene una losa de cubierta que corresponde al área de las escaleras. Donde es muy posible que tengan ubicado un tanque de almacenamiento de agua.			



Bloque escaleras



Escaleras



Reparaciones en losa del área de escaleras (humedades)



Humedades

Figura D.21 Registro fotográfico – bloque escaleras – Alcaldía de Medellín

D.9.4 Bloque 2 continuó al bloque de escaleras

Tabla D.22 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque 2

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.16			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: No hay observaciones.			



Bloque 2



Unión de bloques 1 y 2 con el bloque de escaleras



Bloque 2



Primer nivel bloque 2

Figura D.22 Registro fotográfico – bloque 2 – Alcaldía de Medellín

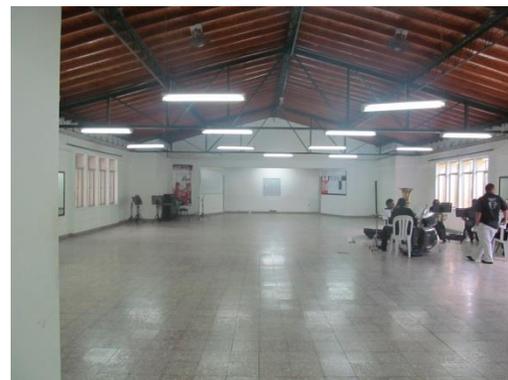
D.9.5 Bloque biblioteca

Tabla D.23 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.42			
Índice Prioritario (%): 0.42			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Hay un fuerte olor de humedad en la biblioteca. Agrietamiento en muros de la parte de atrás de la biblioteca, posiblemente estos agrieamientos se deben a un asentamiento del terreno (suelos blandos). Al parecer la parte de atrás de la biblioteca fue adicionada posterior a la construcción inicial.			



Bloque biblioteca



Segundo piso



Biblioteca



Agrietamiento debido a asentamiento del terreno

Figura D.23 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Alcaldía de Medellín

D.9.6 Bloque portería – entrada principal

Tabla D.24 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque portería

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.65			
Índice Prioritario (%): 0.65			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: No hay observaciones.			



Bloque portería



Entrada a la institución



Segundo nivel



Bloque portería

Figura D.24 Registro fotográfico – bloque portería – Alcaldía de Medellín

D.10 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ALCALDÍA DE MEDELLÍN SEDE PRIMARIA

D.10.1 Bloque aporticado

Tabla D.25 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.25			
Índice Prioritario (%): 0.25			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Cambio de sección de columnas en altura de 40x40 cm a 30x30 cm. Mala calidad de la construcción. Malos empalmes en elementos estructurales (vigas). En algunas partes la cubierta se encuentra sobrecargada y algunos elementos muestran fisuras. Los elementos estructurales no tienen linealidad. La construcción muestra una mala formaletería. Los elementos estructurales muestran cambios en su sección transversal. La calidad del sistema de recolección de aguas es regular, requiere de mantenimiento. Algunos elementos presentan exposición del refuerzo. Concreto de elementos segregado, las vigas presentan deformaciones apreciables.			



Bloque aporticado



Parte de atrás del bloque aporticado



Mala calidad de materiales y de construcción



Exposición del refuerzo

Figura D.25 Registro fotográfico – bloque aporticado – Alcaldía de Medellín Primaria

D.10.2 Bloque baños

Tabla D.26 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque baños

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2B #79-80			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.19			
Índice de Columa (%): 0.64			
Índice Prioritario (%): 0.83			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Redes de desagües atraviesan la losa de entrepiso. Vigas simplemente apoyadas en las columnas (es posible que las columnas se hayan construido posterior a una primera etapa de construcción.			



Bloque baños



Falta de mantenimiento de la estructura de cubierta



Redes que atraviesan la losa de entrepiso



Apoyo de viga sobre columnas

Figura D.26 Registro fotográfico – bloque baños – Alcaldía de Medellín Primaria

D.11 INSTITUCIÓN EDUCATIVA FRANCISCO ANTONIO ZEA

D.11.1 Bloque biblioteca – cafetería

Tabla D.27 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #35-40			
Comuna: 12			
Años de construcción: 4 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.11			
Índice Prioritario (%): 0.11			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Se observan humedades. El primer nivel no tiene muchos muros, esto hace que se forme un piso débil.			



Bloque biblioteca



Piso débil



Bloque biblioteca



Deterioro de los materiales por escurrimiento de agua

Figura D.27 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Francisco Antonio Zea

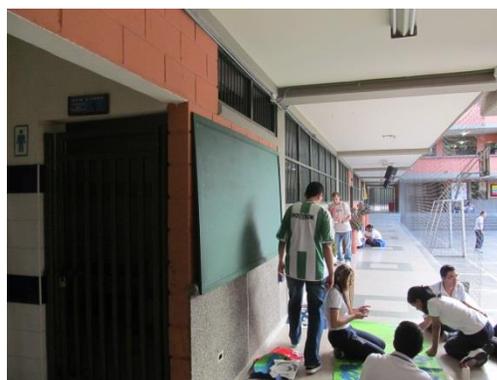
D.11.2 Bloque central - sala de profesores

Tabla D.28 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque central

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #35-40			
Comuna: 12			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columa (%): 0.12			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: No hay observaciones.			



Bloque central



Primer nivel bloque central



Sala de profesores (columnas cortas)



Segundo nivel bloque central

Figura D.28 Registro fotográfico – bloque central – Francisco Antonio Zea

D.11.3 Bloque administrativo

Tabla D.29 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 82 #35-40			
Comuna: 12			
Años de construcción: 7 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.12			
Índice Prioritario (%): 0.12			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Se observan fisuras en la losa debido a una junta que no se dejó en construcción entre dos bloques.			



Bloque administrativo



Primer nivel bloque administrativo



Grieta – junta entre bloques administrativo y central



Perforación de un elemento estructural

Figura D.29 Registro fotográfico – bloque administrativo – Francisco Antonio Zea

D.12 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ANA DE CASTRILLÓN

D.12.1 Bloque biblioteca – sala de profesores

Tabla D.30 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 38C #39B-86			
Comuna: 10			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.04			
Índice de Columa (%): 0.36			
Índice Prioritario (%): 0.40			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La estructura de la escalera se encuentra apoyada sobre unas ménsulas que sobresalen de las losas de entrepiso en ambos extremos. Son tres las losas de descanso en el área de las escaleras.			



Bloque biblioteca



Bloque biblioteca – Apoyo de escaleras en ménsulas



Bloque biblioteca



Área de escaleras – zona posterior

Figura D.30 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Ana de Castrillón

D.12.2 Bloque administrativo

Tabla D.31 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 38C #39B-86			
Comuna: 10			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.24			
Índice Prioritario (%): 0.24			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: En el área de la oficina de rectoría se observan fisuras y agrietamientos que muestran el desprendimiento del muro de la estructura, formando una grieta vertical por la cual se puede ver a través de ella. Este agrietamiento se extiende a la losa de contrapiso. Es muy probable que se esté presentando un asentamiento del suelo.			



Bloque administrativo -Fachada



Bloque administrativo – Al interior



Desprendimiento del muro de la estructura - asentamiento



Agrietamiento – asentamiento del suelo

Figura D.31 Registro fotográfico – bloque administrativo – Ana de Castrillón

D.13 INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARCO FIDEL SUAREZ

D.13.1 Bloque rectoría - secretaría

Tabla D.32 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.27			
Índice Prioritario (%): 0.27			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Es una construcción vieja con calidad de materiales y construcción regular. En la parte noroccidental tiene una ampliación en mampostería simple con losa de entrepiso y cubierta de madera. La ampliación de la nueva estructura al parecer se hizo sin ningún tipo de control ingenieril, las dos losas de entrepiso se ven simplemente adosadas sin ningún tipo de adherente o preparación para la unión entre concretos.			



Bloque rectoría



Bloque rectoría – zona posterior



Unión entre concretos (mala calidad)



Segundo nivel bloque rectoría

Figura D.32 Registro fotográfico – bloque rectoría – Marco Fidel Suarez

D.13.2 Bloque de Psicoorientación

Tabla D.33 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque psicoorientación

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.05			
Índice de Columa (%): 0.27			
Índice Prioritario (%): 0.32			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales			X
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La losa de cubierta presenta deterioro y está afectada por humedades. En la zona del taller detrás del área del laboratorio de física se observa una muy mala calidad de la construcción y de los materiales. Hay fisuramientos en muros (fisuras diagonales) y fisuras que muestran el separamiento de los muros de la cocineta de la estructura principal.			



Bloque psicoorientación



Mala calidad de materiales y de construcción



Fisuramiento en muros – Cocineta



Columna corta

Figura D.33 Registro fotográfico – bloque psicoorientación – Marco Fidel Suarez

D.13.3 Bloque laboratorio de física

Tabla D.34 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque laboratorio

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.16			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Los muros en la entrada de las aulas están separados de la estructura aporticada.			



Bloque laboratorio



Muros separados de la estructura



Laboratorio de física



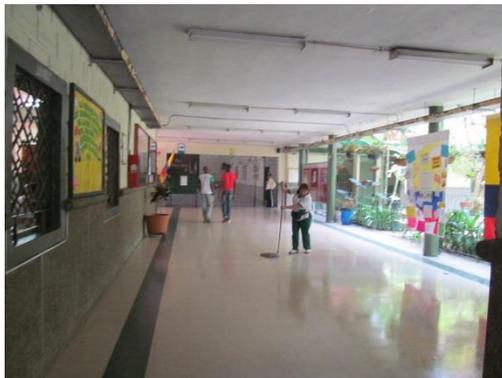
Junta entre bloques

Figura D.34 Registro fotográfico – bloque laboratorio – Marco Fidel Suarez

D.13.4 Bloque biblioteca – administrativo

Tabla D.35 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 50 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.13			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Presencia de humedades que afectan el estado de las losas de entrapiso, muros, vigas y columnas. Fisuramiento y agrietamiento de la losa de contrapiso (suelos blandos) asentamiento del terreno. Falta de mantenimiento de algunas redes, en especial aguas lluvias.			



Bloque biblioteca



Segundo nivel



Biblioteca segundo nivel



Deterioro de los materiales - humedades

Figura D.35 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Marco Fidel Suarez

D.13.5 Bloque aulas continuo al bloque de la biblioteca

Tabla D.36 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 50 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.10			
Índice Prioritario (%): 0.10			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Presencia de humedades que afectan el estado de las losas de entepiso, muros, vigas y columnas. Fisuramiento y agrietamiento de la losa de contrapiso (suelos blandos) asentamiento del terreno. Falta de mantenimiento de algunas redes, en especial aguas lluvias.			



Junta entre bloques de biblioteca y aulas



Bloque de aulas



Bloque de aulas



Bloque de aulas

Figura D.36 Registro fotográfico – bloque aulas – Marco Fidel Suarez

D.13.6 Bloque típico de aulas

Tabla D.37 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque típico de aulas

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.15			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales			X
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Hay presencia de humedades y en algunos bloques se observa asentamiento del terreno. Presencia de fisuras en vigas, muros y columnas.			



Bloques típicos



Columna corta



Bloques típicos



Bloque típico de aulas

Figura D.37 Registro fotográfico – bloque típico – Marco Fidel Suarez

D.13.7 Bloque restaurante y baños

Tabla D.38 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque restaurante

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.15			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales			X
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: La estructura tiene un piso débil. Al parecer demolieron una columna del primer nivel para hacer alguna remodelación generando inestabilidad en la estructura, lo que genera mayores esfuerzos sobre la edificación.			



Bloque restaurante



No está la columna en el primer nivel



Baños (columnas cortas)



Piso débil

Figura D.38 Registro fotográfico – bloque restaurante – Marco Fidel Suarez

D.13.8 Bloque capilla y preescolar

Tabla D.39 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque capilla

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.15			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales			X
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Presencia de humedades.			



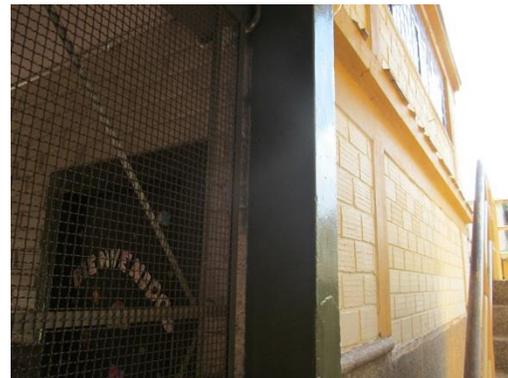
Capilla



Preescolar



Preescolar



Preescolar

Figura D.39 Registro fotográfico – bloque capilla y preescolar – Marco Fidel Suarez

D.13.9 Bloque de música

Tabla D.40 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque música

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 70 #49-70			
Comuna: 11			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.28			
Índice Prioritario (%): 0.30			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Presencia de humedades. Se observan malas prácticas de construcción.			



Bloque música



Mala calidad de materiales y construcción



Deterioro estructural



Mala calidad de materiales y construcción

Figura D.40 Registro fotográfico – bloque música – Marco Fidel Suarez

D.14 INSTITUCIÓN EDUCATIVA LOLA GONZÁLEZ

D.14.1 Bloque principal – aulas – coordinación – sala de profesores

Tabla D.41 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque principal

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 47F #94-63			
Comuna: 12			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columna (%): 0.20			
Índice Prioritario (%): 0.23			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta			X
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Los muros perimetrales interiores no son de toda la altura de entrepiso, por lo tanto hay demasiadas columnas cortas, el espacio libre que genera la columna corta tiene aproximadamente unos 30cm de alto. La losa de entrepiso al parecer es aligerada con ladrillo. Al sur hay un bloque igual que hace parte de la misma estructura. La cubierta está sobrecargada, presenta grandes deformaciones y necesita mantenimiento.			



Bloque principal



Elementos sobrecargados



Columnas cortas – bloque principal



Bloque principal

Figura D.41 Registro fotográfico – bloque principal – Lola González

D.14.2 Bloque nuevo – cafetería

Tabla D.42 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque nuevo

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 47F #94-63			
Comuna: 12			
Años de construcción: 3 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.27			
Índice Prioritario (%): 0.27			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Los ejes de viga principales son diagonales. Presenta una buena calidad de la construcción.			



Bloque nuevo



Vigas en diagonal



Cafetería



Bloque nuevo

Figura D.42 Registro fotográfico – bloque nuevo – Lola González

D.15 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SAMUEL BARRIENTOS RESTREPO SEDE PRINCIPAL

D.15.1 Bloque rectoría – coordinación – aulas – entrada principal

Tabla D.43 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 44 #94-119			
Comuna: 12			
Años de construcción: 50 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.16			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Muro (Noroccidente) construido con muy mala calidad de materiales (prácticamente no hay mortero de pega). El muro está en la parte exterior, al interior hay otro muro el cual se construyó con el objetivo de que las vigas se apoyaran en él.			



Bloque rectoría



Fachada principal



Mala calidad de materiales y construcción



Área de escaleras

Figura D.43 Registro fotográfico – bloque rectoría – Samuel Barrientos Restrepo Sede Principal

D.15.2 Bloque cafetería y aulas en niveles superiores

Tabla D.44 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cafetería

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 44 #94-119			
Comuna: 12			
Años de construcción: 50 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.25			
Índice Prioritario (%): 0.25			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Muy pocos muros en el nivel inferior, la estructura solo tiene dos ejes en el sentido longitudinal.			



Bloque cafetería



Piso débil



Columnas cortas



Segundo nivel - aulas

Figura D.44 Registro fotográfico – bloque cafetería – Samuel Barrientos Restrepo Sede Principal

D.15.3 Bloque cocina y deportes

Tabla D.45 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 44 #94-119			
Comuna: 12			
Años de construcción: 4 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.85			
Índice Prioritario (%): 0.85			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Muros con bloque de concreto. Se observan algunos bloques sueltos y falta de mortero de pega en un muro. Los muros del segundo nivel en ladrillo de arcilla y bloque de concreto.			



Bloque cocina



Deportes



Red atravesando losa



Cocina

Figura D.45 Registro fotográfico – bloque cocina – Samuel Barrientos Restrepo Sede Principal

D.16 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SAMUEL BARRIENTOS RESTREPO SEDE MONSEÑOR

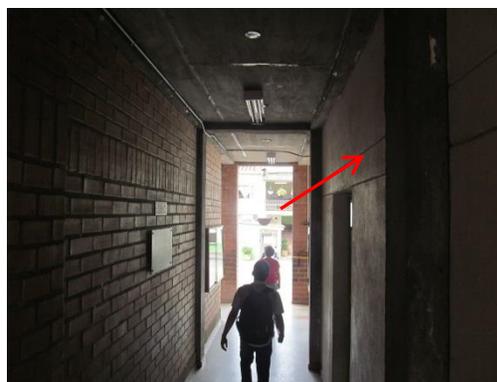
D.16.1 Bloque entrada principal y área de escaleras

Tabla D.46 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque entrada principal

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 44 #97-14			
Comuna: 12			
Años de construcción: 4 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columna (%): 0.36			
Índice Prioritario (%): 0.36			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Se observan grietas debido al mal manejo de las juntas entre bloques (grietas en la losa de entrepiso y muros). Presencia de eflorescencias en algunas vigas.			



Bloque entrada



Bloque entrada



Grieta losa de entrepiso – junta entre bloques



Área de escaleras

Figura D.46 Registro fotográfico – bloque entrada – Samuel Barrientos Restrepo Sede Monseñor

D.16.2 Bloque aulas – auditorio

Tabla D.47 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 44 #97-14			
Comuna: 12			
Años de construcción: 4 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Juan E. Posada			
Índice de Muro (%): 0.06			
Índice de Columa (%): 0.37			
Índice Prioritario (%): 0.43			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Se observan grietas debido al mal manejo de las juntas entre bloques (grietas en la losa de entrepiso y muros). Se observa refuerzo expuesto en columnas del segundo nivel. Presencia de eflorescencias en algunas vigas y losa.			



Bloque aulas



Acero expuesto



Auditorio



Eflorescencias en el concreto

Figura D.47 Registro fotográfico – bloque aulas – Samuel Barrientos Restrepo Sede Monseñor

D.17 INSTITUCIÓN EDUCATIVA LA PIEDAD

D.17.1 Bloque rectoría

Tabla D.48 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 81 #54-71			
Comuna: 12			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.31			
Índice Prioritario (%): 0.33			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La cubierta necesita mantenimiento, presenta humedades.			



Bloque rectoría



Bloque rectoría



Rectoría



Segundo nivel

Figura D.48 Registro fotográfico – bloque rectoría – La Piedad

D.17.2 Bloque preescolar

Tabla D.49 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque preescolar

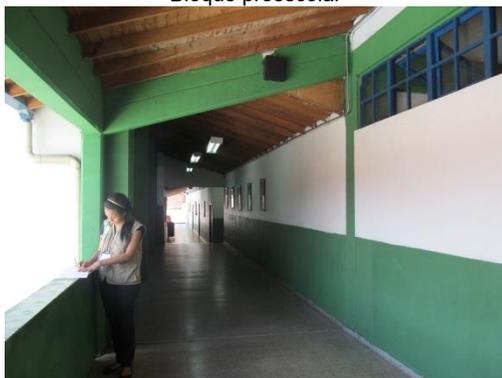
Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 81 #54-71			
Comuna: 12			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columa (%): 0.34			
Índice Prioritario (%): 0.37			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La cubierta necesita mantenimiento, presenta humedades.			



Bloque preescolar



Columnas cortas



Cubierta de madera con teja de barro



Bloque preescolar

Figura D.49 Registro fotográfico – bloque preescolar – La Piedad

D.17.3 Bloque laboratorio de química

Tabla D.50 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque laboratorio

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 81 #54-71			
Comuna: 12			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.53			
Índice Prioritario (%): 0.53			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Piso débil. No hay muros en el primer nivel. Las columnas circulares no continúan al segundo piso. Se observan algunas columnas en el segundo nivel pero son rectangulares. Grietas por mal manejo de juntas entre bloques. La cubierta tiene unos perfiles metálicos (vigas principales) tipo cajón de aproximadamente 15x15cm a 20x20cm. Se observan algunas fisuras en muros.			



Bloque laboratorio



Piso débil



Bloque laboratorio



Laboratorio

Figura D.50 Registro fotográfico – bloque laboratorio – La Piedad

D.18 INSTITUCIÓN EDUCATIVA REPÚBLICA DE VENEZUELA

D.18.1 Bloque administrativo – aulas de clase

Tabla D.51 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 31C #89C-62			
Comuna: 16			
Años de construcción: 12 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.01			
Índice de Columa (%): 0.13			
Índice Prioritario (%): 0.14			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Grieta en una viga del último nivel - Área de escaleras. La calidad de construcción es buena pero las vigas presentan deflexiones importantes y en algunas zonas se observa la exposición del refuerzo.			



Bloque administrativo



Bloque administrativo



Fisura viga último nivel



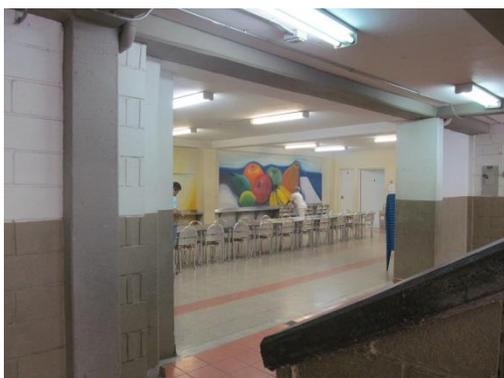
Segundo nivel

Figura D.51 Registro fotográfico – bloque administrativo – República de Venezuela

D.18.2 Bloque cocina y comedor

Tabla D.52 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina

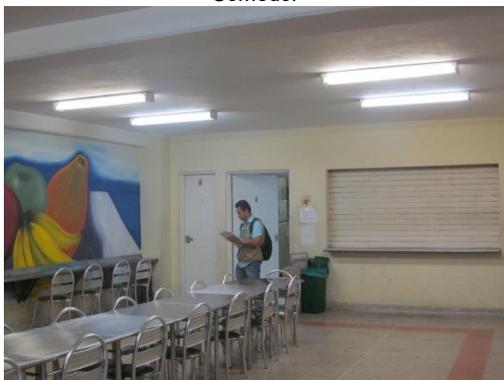
Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 31C #89C-62			
Comuna: 16			
Años de construcción: 12 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.21			
Índice Prioritario (%): 0.23			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: No hay muros en el primer nivel que aporten a la resistencia al corte. Se observa una grieta escalonada sobre la pega de un muro en el último nivel.			



Comedor



Grieta escalonada



Comedor - cocina



Cubierta de madera con teja de barro

Figura D.52 Registro fotográfico – bloque cocina – República de Venezuela

D.19 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SAN ROBERTO DE BELARMINO

D.19.1 Bloque aporticado

Tabla D.53 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aporticado

Municipio: Medellín			
Dirección: Carrera 32B #83-39			
Comuna: 16			
Años de construcción: 20 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columa (%): 0.30			
Índice Prioritario (%): 0.33			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta			X
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: El vaciado de las columnas del primer y segundo nivel pareciera haber sido construido en diferentes etapas de construcción. Se observan muchas humedades en muros, vigas y columnas. Los elementos estructurales han ido perdiendo sección en los bordes de vigas y columnas - concreto segregado. El aula al sur del bloque se encuentra en un nivel inferior pero hace parte de la misma estructura. El resto de las edificaciones del colegio son en mampostería simple con cubierta de madera y teja de barro. Hay una zona de riesgo alta al lado del comedor donde la estructura de mampostería se ve bastante débil (debería estar señalizado al menos).			



Bloque aporticado



Deterioro de la estructura (columnas cortas)

Figura D.53 Registro fotográfico – bloque aporticado – San Roberto de Belarmino



Deterioro estructural - humedades



Mala construcción



Falta de mantenimiento de redes



Cubierta en mal estado



Segregación del concreto



Aula de clase

Figura D.53 Registro fotográfico – bloque aporricado – San Roberto de Belarmino (continuación)

D.20 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SANTOS ÁNGELES CUSTODIOS

D.20.1 Bloque de aulas – edificio en C

Tabla D.54 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque de aulas

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 16ª #65G-4			
Comuna: 15			
Años de construcción: 30 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.21			
Índice Prioritario (%): 0.21			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: La cubierta necesita mantenimiento. No hay columnas en el segundo nivel, solo hay mampostería confinada. Hay una pequeña área de las escaleras donde puede haber un losa maciza y las humedades de esta zona pueden deberse a la ubicación de un tanque de almacenamiento de agua en este mismo lugar.			



Bloque en C



Humedades



Bloque en C



Segundo nivel

Figura D.54 Registro fotográfico – bloque de aulas – Santos Ángeles Custodios

D.20.2 Bloque cafetería

Tabla D.55 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cafetería

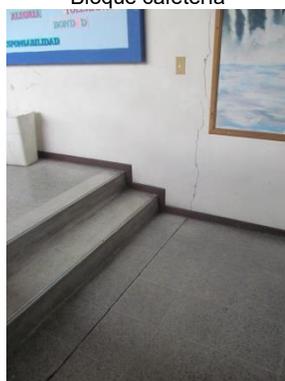
Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 16ª #65G-4			
Comuna: 15			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.25			
Índice Prioritario (%): 0.25			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Edificación muy antigua. Grietas en la junta que separa dos bloques (en muros y losa). No hay columnas en el segundo nivel (2do nivel es mampostería confinada). Hay columnas cortas.			



Bloque cafetería



Cafetería



Grieta (junta entre bloques)



Bloque cafetería

Figura D.55 Registro fotográfico – bloque cafetería – Santos Ángeles Custodios

D.20.3 Bloque biblioteca - laboratorio

Tabla D.56 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 16ª #65G-4			
Comuna: 15			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta de madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.12			
Índice Prioritario (%): 0.12			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Hay columnas cortas. Edificación muy vieja. Las columnas solo están en el primer nivel. El 2do nivel es mampostería confinada.			



Bloque laboratorio



Área de escaleras



Segundo nivel - biblioteca



Segundo nivel

Figura D.56 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Santos Ángeles Custodios

D.21 INSTITUCIÓN EDUCATIVA SANTO ÁNGEL

D.21.1 Bloque entrada principal

Tabla D.57 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque entrada

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2 Sur #53-141			
Comuna: 15			
Años de construcción: 50 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.04			
Índice de Columa (%): 0.10			
Índice Prioritario (%): 0.14			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Es una construcción vieja de columnas y vigas con losa aligerada con ladrillo de arcilla. Se observan columnas cortas en todo el bloque. Se observan grietas debidas a juntas entre estructuras. Los profesores de la institución dicen que el bloque tiene muchas humedades pero no se observaron.			



Bloque entrada principal



Columna corta



Aulas de clase



Bloque entrada principal

Figura D.57 Registro fotográfico – bloque entrada – Santo Ángel

D.21.2 Bloque administrativo y auditorio

Tabla D.58 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2 Sur #53-141			
Comuna: 15			
Años de construcción: 50 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.12			
Índice Prioritario (%): 0.14			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Fisiruas en marcos de puertas y ventanas (cambio de rigidez). Grietas debidas a junta entre bloques. Este bloque fue repotenciado hace aproximadamente 12 años (2001) con la adición de dos ejes de columnas (al parecer de bloque de concreto reforzado) y vigas de 50x50 cm. Esto se hizo ya que la losa tenía grandes deformaciones.			



Bloque administrativo



Reforzamiento con columnas y vigas



Viga (reforzamiento)



Bloque administrativo

Figura D.58 Registro fotográfico – bloque administrativo – Santo Ángel

D.21.3 Bloque sala de profesores y aulas

Tabla D.59 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque sala de profesores

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2 Sur #53-141			
Comuna: 15			
Años de construcción: 30 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.17			
Índice de Columa (%): 0.23			
Índice Prioritario (%): 0.40			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Las columnas no suben al segundo nivel. El segundo nivel es de mampostería simple.			



Bloque sala de profesores



Bloque sala de profesores



Aulas – sala de profesores



Aula de clase – segundo nivel

Figura D.59 Registro fotográfico – bloque sala de profesores – Santo Ángel

D.22 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ANTONIO RICAURTE

D.22.1 Bloque administrativo - aulas

Tabla D.60 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Medellín			
Dirección: Calle 2 Sur #53-141			
Comuna: 16			
Años de construcción: 7 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta madera con teja de barro			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.22			
Índice Prioritario (%): 0.22			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Losas de entepiso macizas de 20 cm. La edificación tiene una buena construcción. Existe una zona del edificio que al parecer se vació en una etapa de construcción diferente. La cubierta necesita mantenimiento ya que existen muchas filtraciones que están afectando los elementos estructurales y no estructurales (vigas, columnas y muros).			



Bloque administrativo



Cubierta en mal estado – eflorescencias en el concreto



Filtraciones de agua – elementos estructurales afectados



Primer nivel

Figura D.60 Registro fotográfico – bloque administrativo – Antonio Ricaurte

D.23 INSTITUCIÓN EDUCATIVA ISOLDA ECHAVARRÍA

D.23.1 Bloque biblioteca y auditorio

Tabla D.61 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Itagüí			
Dirección: Calle 34ª #57-60			
Comuna: --			
Años de construcción: 5 años			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.37			
Índice Prioritario (%): 0.37			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Los muros parecen estar separados de las columnas con 1cm de mortero pero igual se consideran como columnas cortas. Viga volando en el segundo nivel, parece que tenían destinado alguna obra adicional que no se concretó.			



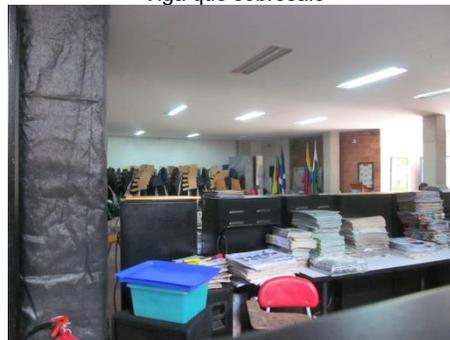
Bloque biblioteca



Viga que sobresale



Cubierta afectada por filtraciones de agua



Auditorio

Figura D.61 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Isolda Echavarría

D.23.2 Bloque nuevo (en construcción)

Tabla D.62 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque nuevo

Municipio: Itagüí			
Dirección: Calle 34ª #57-60			
Comuna: --			
Años de construcción: --			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta metálica			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.10			
Índice de Columa (%): 0.07			
Índice Prioritario (%): 0.17			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta			
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)			
Observaciones: Bloque en construcción. A la fecha se ha construido el sistema aporticado que incluye muros de corte en el área de la rampa y las escaleras. Se observa orden y limpieza en la construcción. Buena calidad de materiales y de construcción. Los muros de mampostería son dovelados (hay pocos).			



Bloque nuevo



Buitrón



Muro dovelado



Tercera losa de entrepiso en construcción

Figura D.62 Registro fotográfico – bloque nuevo – Isolda Echavarría

D.24 INSTITUCIÓN EDUCATIVA JUAN ECHEVERRI ABAD

D.24.1 Bloque administrativo - aulas

Tabla D.63 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Itagüí			
Dirección: Calle 68 #67-50			
Comuna: --			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta madera con teja de barro			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.18			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales			X
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	x		
Observaciones: Los materiales del 2do y 3er piso son muy malos para ser una estructura reciente. La cubierta esta en mantenimiento. Calidad regular de la construcción. Segregación en el concreto, mala formalettería que genera variación en las secciones de los elementos (vigas con caras inclinadas). En el primer nivel no se presentan columnas cortas, pero en el 2do y 3er piso sí.			



Bloque administrativo



Inclinación de elementos (mala formalettería-construcción)



Mala calidad de materiales



Bloque administrativo

Figura D.63 Registro fotográfico – bloque administrativo – Juan Echeverri Abad

D.24.2 Bloque aulas de clase – cocina - comedor

Tabla D.64 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas

Municipio: Itagüí			
Dirección: Calle 68 #67-50			
Comuna: --			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.14			
Índice Prioritario (%): 0.14			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Para ser una edificación nueva tiene materiales de mala calidad. El muro del 2do y 3er piso que da hacia la quebrada está desplomado.			



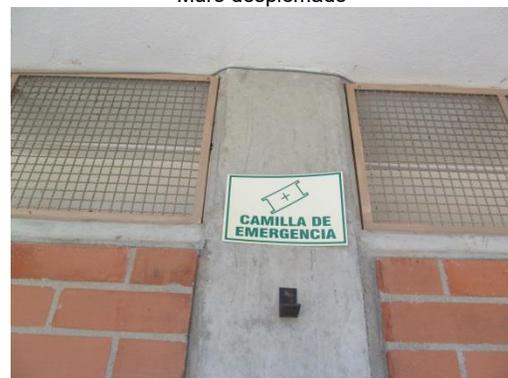
Bloque aulas



Muro desplomado



Fisura en muro



Columna corta

Figura D.64 Registro fotográfico – bloque aulas de clase – Juan Echeverri Abad

D.25 INSTITUCIÓN EDUCATIVA JOHN F. KENNEDY

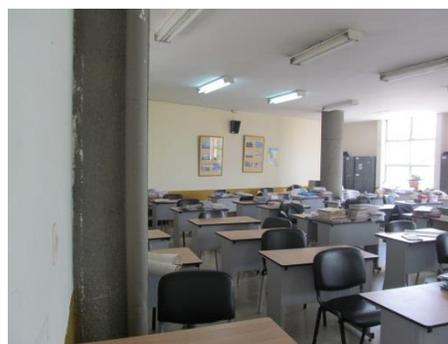
D.25.1 Bloque rectoría - biblioteca

Tabla D.65 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría

Municipio: Itagüí			
Dirección: Calle 31 #50C-30			
Comuna: --			
Años de construcción: 17 años			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.01			
Índice de Columa (%): 0.17			
Índice Prioritario (%): 0.18			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta			X
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Los niveles superiores se han visto muy afectados por la infiltración de aguas lluvias. Hay exposición de refuerzo en el ultimo nivel (cubierta). Según planos esta edificación sería de cuatro niveles (4to nivel es la cubierta), pero el ingeniero estructural del colegio no autorizó su construcción. La vista en planta del edificio es en arco.			



Bloque rectoría



Sala de profesores



Taco de escaleras (peligro estructural – en reparación)



Exposición del refuerzo

Figura D.65 Registro fotográfico – bloque rectoría – John F. Kennedy

D.25.2 Bloque cocina – restaurante – aulas de clase

Tabla D.66 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina

Municipio: Itagüí			
Dirección: Calle 31 #50C-30			
Comuna: --			
Años de construcción: 17 años			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.15			
Índice Prioritario (%): 0.15			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: En el primer piso se encuentran adecuando una zona para lo que será la cocina y el restaurante. Parece que el cuarto nivel se construyó en una etapa de construcción posterior.			



Bloque cocina



Remodelación cocina (1er nivel)



Bloque cocina



Bloque cocina

Figura D.66 Registro fotográfico – bloque cocina – John F. Kennedy

D.25.3 Bloque cafetería – auditorio – aulas de clase

Tabla D.67 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cafetería

Municipio: Itagüí			
Dirección: Calle 31 #50C-30			
Comuna: --			
Años de construcción: 17 años			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.07			
Índice Prioritario (%): 0.07			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Se presentan muchas humedades. El cuarto nivel se construyó en otra etapa de construcción.			



Bloque cafetería



Primer nivel (piso débil)



Remodelación de los baños



Cubierta de asbesto cemento

Figura D.67 Registro fotográfico – bloque cafetería – John F. Kennedy

D.26 INSTITUCIÓN EDUCATIVA PEDRO ESTRADA

D.26.1 Bloque administrativo – entrada principal

Tabla D.68 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Itagüí			
Dirección: Carrera 47 #85-113			
Comuna: --			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta metálica			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.02			
Índice de Columa (%): 0.29			
Índice Prioritario (%): 0.31			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Geometría irregular en planta conformada por un círculo y dos rectángulos.			



Bloque acceso a la institución



Losa de entrepiso circular



Bloque acceso a la institución



Rampa de acceso a otros niveles

Figura D.68 Registro fotográfico – bloque administrativo – Pedro Estrada

D.26.2 Bloque aulas de clase – deportes - restaurante

Tabla D.69 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas

Municipio: Itagüí			
Dirección: Carrera 47 #85-113			
Comuna: --			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta metálica			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.13			
Índice Prioritario (%): 0.13			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Se encuentran algunas humedades. El colegio se encuentra en remodelación. No es claro si existe o no un eje adicional de columnas sobre la fachada del edificio. Para el cálculo del índice solo se tuvieron en cuenta dos ejes de columnas con 8 columnas cada uno. Son dos edificios con la misma configuración arquitectónica y estructural separados por una tercer estructura con forma circular. El bloque similar es un edificio de aulas de clase .			



Bloque aulas de clase



Deportes



Segundo nivel



Eflorescencias en el concreto (cubierta)

Figura D.69 Registro fotográfico – bloque aulas – Pedro Estrada

D.27 INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRIMITIVO LEAL LA DOCTORA

D.27.1 Bloque administrativo

Tabla D.70 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque administrativo

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 75 Sur #33-53			
Comuna: --			
Años de construcción: 16 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.33			
Índice Prioritario (%): 0.33			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: El cielo falso de la cubierta se encuentra dañado y agrietado en la biblioteca, este es un riesgo para los alumnos de la institución.			



Bloque administrativo



Bloque administrativo



Segundo nivel



Cielo falso en mal estado

Figura D.70 Registro fotográfico – bloque administrativo – Primitivo Leal La Doctora

D.27.2 Bloque aulas de clase

Tabla D.71 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 75 Sur #33-53			
Comuna: --			
Años de construcción: 21 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.17			
Índice Prioritario (%): 0.17			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Calidad de construcción muy mala. Acero expuesto. La colocación de las unidades de mampostería es muy mala. Hay variabilidad en los materiales (ladrillos de diferente calidad). Estructura construida por etapas. Demolieron unos muros para dar acceso a un bloque nuevo entre los ejes 1 y 2 (ver formato de campo). Se recomienda el mantenimiento de las instalaciones (redes).			



Bloque aulas de clase



Ladrillos de diferente calidad



Mala calidad de construcción (acero expuesto)



Acceso al bloque nuevo

Figura D.71 Registro fotográfico – bloque aulas – Primitivo Leal La Doctora

D.27.3 Bloque aulas – vivienda

Tabla D.72 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas - vivienda

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 75 Sur #33-53			
Comuna: --			
Años de construcción: 21años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.16			
Índice Prioritario (%): 0.16			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción			X
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Una zona del bloque hace las veces de vivienda familiar. Esta vivienda fue ampliada en un costado de la estructura (tipo de construcción: mampostería simple). En el costado hacia el sur del bloque construyeron un taco de escaleras el cual es independiente de la edificación principal (mampostería simple). Se recomienda mantenimiento de las redes.			



Bloque aulas - vivienda



Área de escaleras



Segundo nivel



Mala calidad de materiales

Figura D.72 Registro fotográfico – bloque aulas – vivienda – Primitivo Leal La Doctora

D.27.4 Bloque nuevo

Tabla D.73 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque nuevo

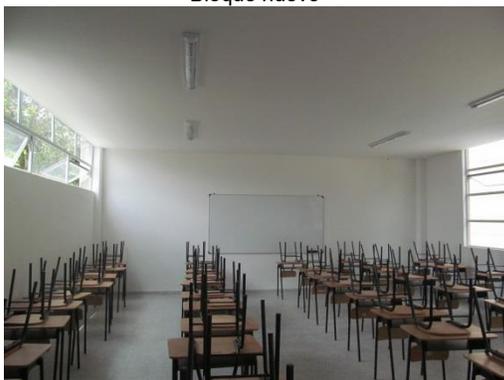
Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 75 Sur #33-53			
Comuna: --			
Años de construcción: 2 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta madera con teja de barro			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.22			
Índice Prioritario (%): 0.22			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Presencia de humedades.			



Bloque nuevo



Humedades



Aula de clase



Bloque nuevo

Figura D.73 Registro fotográfico – bloque nuevo – Primitivo Leal La Doctora

D.28 INSTITUCIÓN EDUCATIVA PRESBITERO ANTONIO BAENA SALAZAR

D.28.1 Bloque Sistemas (Segundo nivel)

Tabla D.74 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque sistemas

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 82 Sur #32-68			
Comuna: --			
Años de construcción: 35 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta losa de concreto reforzado			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Laura Sierra			
Índice de Muro (%): 0.03			
Índice de Columa (%): 0.26			
Índice Prioritario (%): 0.29			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Las columnas que están en el pasillo del bloque parece que no suben al segundo nivel. La unión entre la columna y la losa muestra un apoyo simple (apoyado) parece que no existe una buena conexión entre ellas. La losa de entrepiso y cubierta al parecer es maciza de unos 20 cm de espesor. Hay muros bajos divisorios en la zona de baños en el primer nivel. Se observa exposición del refuerzo en la parte superior de losa de cubierta.			



Bloque sistemas



Baños



Bloque sistemas



Exposición del refuerzo

Figura D.74 Registro fotográfico – bloque sistemas – Presbítero Antonio Baena Salazar

D.28.2 Bloque cocina - restaurante

Tabla D.75 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 82 Sur #32-68			
Comuna: --			
Años de construcción: 35 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta madera con teja de barro y teja de abesto cemento			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.63			
Índice Prioritario (%): 0.63			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales		X	
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Las columnas no continúan al segundo nivel. Construcción vieja - los muros de mampostería no hacen parte del sistema aporticado. Losa aligerada con caseton de madera (35-40cm). La cubierta necesita mantenimiento.			



Bloque cocina



Fachada - Bloque



Losa aligerada



Aula de clase

Figura D.75 Registro fotográfico – bloque cocina – Presbítero Antonio Baena Salazar

D.28.3 Bloque biblioteca - secretaría

Tabla D.76 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 82 Sur #32-68			
Comuna: --			
Años de construcción: 35 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta madera con teja de barro y teja de abesto cemento			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.18			
Índice Prioritario (%): 0.18			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Se observan columnas cortas pero solo en los voladizos en el resto de la estructura los muros se encuentran separados del sistema aporticado. Losa aligerada con caseton (35-40cm).			



Bloque biblioteca



Cubierta metálica – patio del bloque



Patio del bloque



Bloque biblioteca

Figura D.76 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Presbítero Antonio Baena Salazar

D.29 INSTITUCIÓN EDUCATIVA RAFAEL J. MEJÍA

D.29.1 Bloque aulas – cocina comedor (nivel inferior)

Tabla D.77 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 45 #77C Sur-47			
Comuna: --			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 3			
Tipo de cubierta: Cubierta metálica			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Laura Sierra			
Índice de Muro (%): 0.01			
Índice de Columa (%): 0.15			
Índice Prioritario (%): 0.16			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: En las losas de entrepiso se observa la malla de refuerzo de la loseta (no hay recubrimiento).			



Bloque aulas



Bloque aulas



Exposición del refuerzo (no hay recubrimiento)



Segundo nivel

Figura D.77 Registro fotográfico – bloque aulas – Rafael J. Mejía

D.29.2 Bloque biblioteca - rectoría

Tabla D.78 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque biblioteca

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 45 #77C Sur-47			
Comuna: --			
Años de construcción: 8 años			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta metálica			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Laura Sierra			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.17			
Índice Prioritario (%): 0.17			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción	X		
Estado de la cubierta	X		
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)	X		
Observaciones: Columnas cortas en el segundo nivel. Hay una grieta en la losa de contrapiso en la biblioteca, parece ser un asentamiento.			



Bloque biblioteca



Bloque biblioteca



Biblioteca



Segundo nivel (humedades)

Figura D.78 Registro fotográfico – bloque biblioteca – Rafael J. Mejía

D.30 INSTITUCIÓN EDUCATIVA MARÍA AUXILIADORA

D.30.1 Bloque aulas de clase – biblioteca (segundo nivel)

Tabla D.79 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque aulas

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 56 Sur #38-117			
Comuna: --			
Años de construcción: 20 años o más			
N° de pisos: 2			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Si			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.32			
Índice Prioritario (%): 0.32			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta			X
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Las fuertes lluvias y vientos han levantado tejas de la cubierta. Cielo falso deteriorado. Hay muchas humedades debido a la infiltración de aguas dentro de la estructura afectando los elementos estructurales del edificio. Instalaciones que atraviesan losas de entrepiso.			



Bloque aulas



Cielo falso deteriorado – infiltraciones de agua



Tercer nivel



Redes atravesando losa de entrepiso

Figura D.79 Registro fotográfico – bloque aulas – María Auxiliadora

D.30.2 Bloque baños y área de escaleras

Tabla D.80 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque baños

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 56 Sur #38-117			
Comuna: --			
Años de construcción: 20 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.32			
Índice Prioritario (%): 0.32			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Edificación entre dos bloques principales. La cubierta permite la infiltración de aguas lluvias. Sistema de construcción viejo. Parece tener una losa aligerada con ladrillo.			



Bloque baños



Redes atravesando losa de entpiso



Cubierta asbesto cemento



Baños

Figura D.80 Registro fotográfico – bloque baños – María Auxiliadora

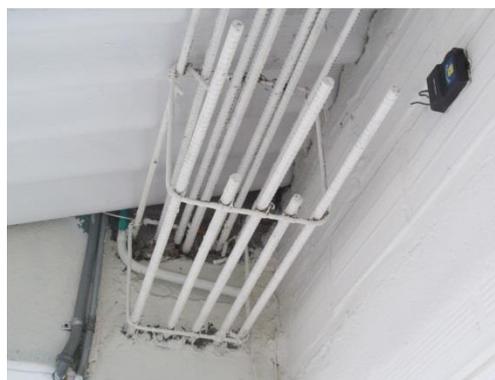
D.30.3 Bloque rectoría – sistemas (segundo nivel)

Tabla D.81 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque rectoría

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 56 Sur #38-117			
Comuna: --			
Años de construcción: 20 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: Sí			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.29			
Índice Prioritario (%): 0.29			
Prioridad: Alta			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Presencia de humedades que afectan la estructura. Los muros del primer nivel no se encuentran unidos a las columnas. Existe una zona donde el nivel inferior es la cocina de la institución. Exposición de refuerzo. Manejo regular de redes.			



Bloque rectoría



Exposición del refuerzo



Bloque rectoría



Segundo nivel (cubierta)

Figura D.81 Registro fotográfico – bloque rectoría – María Auxiliadora

D.30.4 Bloque cocina y comedor

Tabla D.82 Índice prioritario y estado estructural de la edificación – bloque cocina

Municipio: Sabaneta			
Dirección: Calle 56 Sur #38-117			
Comuna: --			
Años de construcción: 20 años o más			
N° de pisos: 1			
Tipo de cubierta: Cubierta asbesto cemento			
Columnas cortas: No			
Fotos: Faver Zora Mejía			
Índice de Muro (%): 0.00			
Índice de Columa (%): 0.72			
Índice Prioritario (%): 0.72			
Prioridad: No es de alta prioridad			
ESTADO DE LA ESTRUCTURA			
Item	Buena	Regular	Mala
Calidad de materiales	X		
Calidad de construcción		X	
Estado de la cubierta		X	
Instalación de redes (eléctricas, hidráulicas, gas, etc)		X	
Observaciones: Las columnas tienen los ejes rotados en planta. Las columnas no suben al segundo nivel. Calidad pobre de construcción.			



Bloque cocina



Comedor



Redes atravesando muros



Bloque cocina (segundo nivel)

Figura D.82 Registro fotográfico – bloque cocina – María Auxiliadora