

SOBRE EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOS DEPÓSITOS DE SUELOS
DEL ÁREA DE CAÑAVERALEJO, CALI, COLOMBIA

CRISTINA ISABEL ROSALES CLIMENT

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

2001

SOBRE EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOS DEPÓSITOS DE SUELOS
DEL ÁREA DE CAÑAVERALEJO, CALI, COLOMBIA

CRISTINA ISABEL ROSALES CLIMENT
Proyecto de grado para optar el título de Ingeniera Civil

Director
HANSJÜRGEN MEYER
Geofísico

UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GEOMÁTICA
SANTIAGO DE CALI
2001

PROYECTO

Título: *SOBRE EL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LOS DEPÓSITOS DE SUELO DEL ÁREA DE CAÑAVERALEJO, CALI, COLOMBIA*

Autora

Cristina Isabel Rosales Climent

Cod. 9303290

Universidad del Valle

crosales@osso.univalle.edu.co

Director

Prof. Hansjürgen Meyer

Geofísico, Msc.

Investigador Observatorio Sismológico del SurOccidente – OSSO

Profesor Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

hjm@osso.univalle.edu.co

Asesores

Prof. Germán Villafañe

Ingeniero Civil

Profesor Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

Universidad del Valle

gevillas@telesat.com.co

Prof. Andrés Velásquez

Ingeniero Geólogo

Director del Observatorio Sismológico del Sur Occidente

Profesor Facultad de Ingeniería, Universidad del Valle

ave@osso.univalle.edu.co

Nota de aceptación

Tesis laureada.

Resolución No. 123 del 13 de diciembre

del 2001, Consejo Superior, Universidad

del Valle

Jurado, Peter Thomson

Jurado, Anita Campos

Jurado, Jaime Toral

Santiago de Cali, 13 de julio del 2001

AGRADECIMIENTOS

Llegar a esta parte de la tesis es una maravilla. Significa, entre otras cosas, que empiezo a embarcarme mas de lleno en los retos del conocimiento en la interacción medio ambiente - ingeniería - geofísica aplicada.

A lo largo del desarrollo del proyecto, interactué con diversos profesionales externos al OSSO, de la Escuela de Ingeniería Civil y Geomática de la Universidad del Valle, del Instituto de Geociencias de Panamá, entre otras instituciones nacionales e internacionales, que apoyaron de una u otra forma la consecución de información, y me nutrieron con sus ideas y asesoría. A todos ellos muchas gracias.

También quiero agradecer a todas las personas que conforman el grupo OSSO, y especialmente a las áreas de sistemas e instrumentación que siempre estuvieron pendientes de las necesidades relacionadas con los instrumentos de medición y equipos de adquisición, y apoyaron la logística de las diversas mediciones en campo. Al área de procesamiento gráfico por todo el apoyo prestado, especialmente al final, para la edición de las figuras y tablas.

A Hans y Andrés por la confianza depositada, su generosidad y apoyo.

Al rock en español por *poner a vibrar* los depósitos del área de estudio.

RESUMEN

En la ciudad de Cali, Colombia, se identificó una zona de comportamiento sísmico singular sobre los depósitos aluviales en el área de Cañaveralejo. Los indicadores incluyen concentración de daños en edificaciones, por sismos de magnitud moderada a distancias epicentrales de más de 400 km, y vibraciones inducidas por espectáculos musicales con asistencia masiva en escenarios públicos, perceptibles en edificios hasta 1000 m de distancia

Uno de los propósitos en la caracterización de esta zona fue el de resolver un problema que típicamente la ingeniería ha enfrentado con técnicas directas puntuales (perforaciones, ensayos de laboratorio, etc.) mediante la aplicación de metodologías de evaluación histórica y geológica, para inferir la génesis de los terrenos, y de técnicas de sondeo indirectas de la geofísica, para cuantificar la estructura, los parámetros mecánicos y las respuestas dinámicas de los suelos.

Se estudiaron las características geológicas e hidrológicas de la cuenca-fuente (río Cañaveralejo) y de las formaciones geológicas superficiales vecinas, las condiciones de los terrenos pre-urbanización, los perfiles geotécnicos disponibles para la zona de estudio y áreas aledañas, los patrones de los reportes macrosísmicos de varias décadas y los reportes de efectos de vibraciones inducidas en edificaciones. También se midieron las respuestas dinámicas de los terrenos mediante la técnica de análisis espectral de vibraciones ambientales, la distribución en profundidad de las velocidades de

propagación de las ondas P y S y de la relación de Poisson, así como la generación y propagación de vibraciones inducidas por espectáculos musicales masivos.

La información histórica, geomorfológica e hidrológica permite inferir la acción de una cuenca de torrencialidad muy alta en el contexto local, un alto aporte de sedimentos muy finos (a partir de rocas básicas y gruesos saprolitos), sedimentación en un ambiente de súbito cambio de velocidades de flujo sobre terrenos de muy baja inclinación, inundables y lateralmente confinados. Mediante las mediciones geofísicas se encontraron velocidades de ondas P del orden de 1500 m/s y de S de aproximadamente 200 m/s, correspondiente al rango inferior de los suelos rígidos; conjuntamente con el coeficiente de Poisson resultante estos valores son característicos de arcillas saturadas, lo cual es compatible con la información contenida en los perfiles geotécnicos. Los perfiles de refracción sísmica, con aproximadamente 50 m de profundidad de exploración, no alcanzaron ninguna capa refractora profunda. Los periodos fundamentales de vibración de los terrenos oscilan entre 0,5 y 1,8 s, crecientes hacia el E, conforme se alejan del piedemonte rocoso. Por otro lado, en cercanías de la fuente y a 1000 m de distancia, se registraron vibraciones inducidas con modos de vibración diferentes en cada canción asociables probablemente con los modos de vibración de los diversos elementos estructurales, con frecuencias armónicas principales desde 1,9 hasta 2,45 Hz. La atenuación de éstas vibraciones inducidas fue comparativamente baja, del orden de 20 veces en 1000 metros, en relación con casos de atenuación de las ondas por vibrohincado de tablestacacas en arenas.

En un modelo preliminar se deduce que el comportamiento dinámico singular – el “efecto de sitio” - que han mostrado los depósitos del área de Cañaveralejo, está controlado conjuntamente por la baja velocidad de propagación de la onda S, en una estrato conformado principalmente de arcillas saturadas de más 28 m de espesor, en lo que a la amplificación selectiva de ondas sísmicas refiere,

mientras que en la propagación de vibraciones inducidas además es decisivo el confinamiento lateral de los depósitos del Cono.

El trabajo concluye también con la deducción de evaluaciones que serán necesarias para disminuir algunas incertidumbres o inconsistencias en el modelo, para detallar aún más el entendimiento del proceso de propagación de ondas elásticas en los Depósitos, y para acabar de caracterizar y delimitar una microzona “Depósitos de Cañaveralejo” para la zonificación sísmica de terrenos en el área urbana de Cali.

CONTENIDO

0.	INTRODUCCIÓN	1
1.	MARCO GENERAL.....	5
1.1	ANTECEDENTES Y JUSTIFICACIÓN	5
1.2	ÁREA DE ESTUDIO	8
1.3	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	8
1.4	ALCANCES Y LIMITACIONES	15
1.5	OBJETIVOS	16
2.	METODOLOGÍA.....	17
3.	MARCO TEÓRICO	21
3.1	CONCEPTO DE RAYO.....	22
3.1.1	Definición.	22
3.1.2	Principio de Huygens.	23

3.1.3	Principio de Fermat.....	23
3.1.4	Ley de reflexión.....	23
3.1.5	Ley de refracción.....	23
3.2	CONCEPTO DE ONDA	24
3.2.1	Definición.....	24
3.2.2	Descripción de las ondas	25
3.2.3	Ondas elásticas.....	25
3.2.4	Contenido espectral de las ondas	26
3.2.5	Interferencia.....	27
3.3	PRINCIPIOS DE LA TEORÍA DE LA ELASTICIDAD.....	28
3.3.1	Esfuerzo.....	29
3.3.2	Deformación.....	30
3.3.3	Ley de Hooke.....	31
3.3.4	Constantes elásticas en medios isotrópicos.....	32
3.3.5	Constantes elásticas en medios anisotrópicos.....	35
3.3.6	Ecuación de la onda.....	35
3.3.7	Velocidades de las ondas elásticas.....	37
3.4	FUNCIÓN DE TRANSFERENCIA	38
4.	LA ZONA DE CAÑAVERALEJO EN LA HISTORIA DE CALI	42
4.1	OBJETIVOS.....	42
4.2	FUNDACIÓN DE CALI.....	43
4.3	LA ZONA DEL CAÑAVERALEJO EN LA HISTORIA DE CALI.....	45
4.4	CAÑAVERALEJO EN EL SIGLO XX	48
4.5	LAS OBRAS DE INGENIERÍA HIDRÁULICA Y SU PAPEL URBANIZADOR.....	55
4.6	CONCLUSIONES.....	56

5.	CONDICIONES GEOAMBIENTALES.....	57
5.1	ASPECTOS CLIMÁTICOS.....	58
5.1.1	Precipitación.....	58
5.1.2	Parámetros morfométricos.....	61
5.2	GEOLOGÍA.....	63
5.3	GEOFORMAS Y UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES.....	64
5.4	CARTOGRAFÍA DE DRENAJES ANTIGUOS.....	65
5.5	ESTRATIGRAFÍA DE LOS DEPÓSITOS.....	68
5.5.1	Perfiles estratigráficos y espesores de arcillas.....	70
5.6	ASPECTOS TECTÓNICOS.....	76
5.7	INFORMACIÓN GEOTÉCNICA.....	77
6.	SÍNTESIS DE INFORMACIÓN MACROSÍSMICA.....	79
6.1	FUENTES SISMOGÉNICAS Y SISMICIDAD.....	80
6.2	EVALUACIÓN DE INFORMACIÓN MACROSÍSMICA.....	82
6.2.1	Fuentes de información.....	82
6.2.2	Sismos sentidos.....	85
6.2.3	Sismos con daños.....	86
6.2.4	Daños por sismos en la zona de estudio.....	90
7.	GEOFÍSICA APLICADA Y MÉTODOS.....	95
8.	REFRACCIÓN SÍSMICA.....	99
8.1	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	99

8.1.1	Aplicaciones en la Ingeniería Civil.	100
8.1.2	Alcances y limitaciones del método.	101
8.2	PROPAGACIÓN Y TRAYECTORIA DE LAS ONDAS.....	101
8.3	EQUIPO DE MEDICIÓN.....	106
8.4	CURVAS TIEMPO-DISTANCIA.....	108
8.5	SUPOSICIONES DEL MÉTODO.....	111
8.6	PRINCIPIOS GENERALES DE INTERPRETACIÓN EN REFRACCIÓN.....	111
8.6.1	Ley de las velocidades aparentes.....	112
8.6.2	Principio de reciprocidad.....	113
8.6.3	Principio del intercepto en el origen.....	115
8.6.4	Principio de paralelismo.....	115
8.7	METODOLOGÍAS DE CÁLCULO.....	116
8.7.1	Tiempos de intercepto.....	117
8.7.2	Velocidades aparentes.....	117
8.7.3	Frentes de onda.....	118
8.7.4	Tiempos de retardo.....	118
8.7.5	Trazado de rayos.....	118
8.7.6	Cuadro comparativo.....	119
8.8	MÉTODOS APLICADOS EN EL PROYECTO.....	119
8.8.1	Tiempos de intercepto.....	119
8.8.2	Velocidades aparentes.....	125
8.8.3	Profundidad mínima.....	131
8.9	ESTUDIO DE LA VELOCIDAD DE LA ONDA S.....	131
9.	MEDICIONES DE REFRACCIÓN SÍSMICA.....	133
9.1	EQUIPO DE REFRACCIÓN.....	133
9.1.1	Fuente de generación de ondas sísmicas.....	133

9.1.2	Detección de los movimientos del terreno.	133
9.1.3	Adquisición y almacenamiento.....	136
9.1.4	Lectura tiempos de llegada en campo.	136
9.2	SELECCIÓN DE SITIOS DE MEDICIÓN.....	137
9.3	MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE LA ONDA P	138
9.3.1	Coliseo El Pueblo (RS #7)	139
9.3.2	Iglesia Tequendama (RS#8)	140
9.3.3	Colegio Politécnico (RS#14).	141
9.3.4	Univalle Biblioteca (RS#10)	143
9.3.5	Procesamiento de señales, interpretación y cálculo.	144
9.4	RESULTADOS.....	150
9.5	MEDICIÓN DE VELOCIDAD DE ONDA S.....	152
9.5.1	Ensayos.	153
9.5.2	Resultados.	158
9.6	PARÁMETROS DINÁMICOS.....	159
10.	MICROTREPIDACIONES: APROXIMACIÓN AL ESTADO DEL ARTE	160
10.1	INTRODUCCIÓN	160
10.2	DEFINICIÓN	161
10.3	NATURALEZA DE LAS MICROTREPIDACIONES	162
10.4	METODOLOGÍAS PARA LA MEDICIÓN DEL EFECTO DE SITIO	164
10.4.1	Antecedentes, metodología de Kanai y estudios posteriores.	165
10.4.2	Método 1: Observación con arreglos de sensores.....	168
10.4.3	Método 2: Relación espectral con un sitio de referencia.....	169
10.4.4	Método 3: Observaciones con un sólo sensor (1 ó 3 componentes).	171
10.5	METODOLOGÍA DE NAKAMURA	172
10.5.1	Descripción.	172

10.5.2	Resultados de Nakamura.....	175
10.5.3	Fundamentos de la técnica del cociente espectral H/V.	175
10.5.4	Aplicaciones y estudios teóricos y numéricos.....	176
10.5.5	Otras aplicaciones.....	185
10.5.6	Equipos y procedimiento de medición.	186
10.5.7	Procesamiento y análisis de las señales.	189
10.6	DISCUSIÓN Y SÍNTESIS	192
11.	MEDICIONES DE MICROTREPIDACIONES.....	196
11.1	EQUIPO DE MEDICIÓN	197
11.1.1	Sensor de velocidad.....	197
11.1.2	Unidad de digitalización.	198
11.1.3	Unidad de almacenamiento.	198
11.2	PARÁMETROS DE ADQUISICIÓN	200
11.2.1	Tiempo de registro y tasa de muestreo.....	200
11.2.2	Nomenclatura de archivos.	200
11.3	SITIOS DE MEDICIÓN Y REGISTROS.....	201
11.3.1	Selección de sitios.	201
11.3.2	Descripción y registros.....	202
11.4	PROCESAMIENTO DE LAS SEÑALES	207
11.4.1	Fase 1: Tratamiento básico y preparación de las señales.....	207
11.4.2	Fase 2: Procesamiento y análisis.	210
11.5	RESULTADOS.....	213
11.5.1	Periodos fundamentales.	214
11.5.2	Factor de amplificación.	216
11.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	217
11.6.1	Factor de amplificación.	217
11.6.2	Periodos fundamentales.	218

12.	VIBRACIONES INDUCIDAS POR CONCIERTOS.....	222
12.1	CARGA DINÁMICA Y FRECUENCIAS.....	222
12.1.1	Definición.	223
12.1.2	Casos de vibraciones inducidas.....	224
12.2	ANTECEDENTES.....	225
12.2.1	Fuentes y reportes de vibraciones inducidas.....	227
12.2.2	Distribución espacial.	230
12.3	MEDICIONES.	230
12.3.1	Descripción.	230
12.3.2	Análisis.....	233
13.	UN MODELO PRELIMINAR.....	239
13.1	INTRODUCCIÓN	239
13.2	SÍNTESIS DE RESULTADOS	241
13.3	MODELO.....	244
14.	RECOMENDACIONES.....	249
	BIBLIOGRAFÍA.....	251
	ANEXOS	275

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Localización del área de estudio.	9
Figura 2. Espectro de aceleraciones promedio para diferentes condiciones.	11
Figura 3. Rayos sísmicos y frentes de onda.	22
Figura 4. Leyes de reflexión (a) y refracción (b)	24
Figura 5. Onda armónica en un instante determinado.	36
Figura 6. Función de transferencia.	39
Figura 7. Función de transferencia por la geología.	39
Figura 8. Funciones de transferencia “de la medición”	40
Figura 9. Laguna de Aguablanca (aprox. 1950)	45
Figura 10. Ríos, ciénagas y vías del municipio de Cali, principios S. XX.	50
Figura 11. Mapa de planeamiento físico de Winner y Sert, 1954.	52
Figura 12. Plaza de Toros de Cañaveralejo, 1956.	53
Figura 13. Antiguo curso del río Cañaveralejo y su cuenca.	58
Figura 14. Zonas de vida en el área de estudio.	59
Figura 15. Precipitación media mensual multianual, Cuenca de Cañaveralejo. .	61
Figura 16. Caudales mensuales multianuales, estación El Jardín.	63
Figura 17. Unidades geológicas superficiales	66
Figura 18. Geoformas en el área de estudio	67
Figura 19. Drenajes antiguos.	68
Figura 20. Perfil A-A'	74
Figura 21. Perfil B-B'	75
Figura 22. Isópacas de arcillas desde superficie	76

Figura 23. Síntesis de informaci3n geot3cnica, 3rea de estudio.....	78
Figura 24. Sismicidad en el suroccidente colombiano, 1987-2000.....	81
Figura 25. Sismos sentidos en Cali por fuentes de informaci3n 1566-2001.....	84
Figura 26. Sismos sentidos en Cali	86
Figura 27. Acumulado de sismos sentidos reportados en Cali, 1987-2001.....	87
Figura 28. Mapa de localizaci3n de sismos con da±os en Cali, 1566-2001.	88
Figura 29. Distribuci3n de da±os por sismos en Cali.....	93
Figura 30. Distribuci3n de da±os por sismos en la Zona de Estudio.	94
Figura 31. Modelo de dos capas, la inferior de mayor velocidad.....	103
Figura 32. Propagaci3n de las ondas en un medio de dos capas	104
Figura 33. 3ngulo cr3tico de refracci3n i_c	105
Figura 34. Esquema general del equipo de refracci3n s3smica.	106
Figura 35. Registro t3pico de los sismogramas.....	109
Figura 36. Curva tiempo – distancia para disparos directo y reverso	109
Figura 37. Relaci3n entre la distancia cr3tica y la profundidad.....	110
Figura 38. Ley de las velocidades aparentes.	114
Figura 39. Principio de reciprocidad	114
Figura 40. Tiempo de intercepto en el origen.	115
Figura 41. Aplicaci3n del principio de paralelismo.....	116
Figura 42. Tiempos de intercepto: modelo de dos estratos planos	121
Figura 43. Tiempos de intercepto	122
Figura 44. M3todo del intercepto: geometr3a capas planas.....	123
Figura 45. Modelos para tres refractores.....	125
Figura 46. Velocidades aparentes: modelo de un refractor.	126
Figura 47. Velocidades aparentes: modelo para dos refractores inclinados.....	129
Figura 48. (a) Porra y plato de golpe. (b) Cable de extensi3n del <i>trigger</i>	134
Figura 49. Cables s3smicos durante el tendido de la l3nea de refracci3n.....	135
Figura 50. Sensor triaxial.....	135
Figura 51. Unidad de adquisici3n (izq) y bater3a de alimentaci3n (der).....	136
Figura 52. Localizaci3n ensayos de refracci3n s3smica.....	138
Figura 53. Ubicaci3n tendido refracci3n s3smica Coliseo El Pueblo	139

Figura 54. Ubicación tendido refracción sísmica Iglesia Tequendama.....	141
Figura 55. Ubicación del tendido refracción sísmica, Colegio Politécnico.	142
Figura 56. Ubicación tendido refracción sísmica Biblioteca UV.....	144
Figura 57. Curvas t-x para Coliseo con geófonos verticales.....	145
Figura 58. Curvas t-x para Iglesia con geófonos verticales	146
Figura 59. Curvas Colegio Politécnico, sensores verticales	147
Figura 60. Curva t-x ensayo #132 en Politécnico	148
Figura 61. Curvas t-x para Biblioteca con geófonos verticales	149
Figura 62. Estimación de la profundidad al refractor en Coliseo	151
Figura 63. Curva t-x para Coliseo con geófonos triaxiales	154
Figura 64. Curva t-x para Colegio con geófonos triaxiales	156
Figura 65. Curva t-x para Sólidos con geófonos triaxiales.....	157
Figura 66. Resultados de medición de C_s y clasificación según Dobry et al. 2000	158
Figura 67. Esquema general para registro de microtrepidaciones.	197
Figura 68. Equipo de mediciones de microtrepidaciones.	199
Figura 69. Sitios de medición de microtrepidaciones.....	203
Figura 70. Ubicación puntos de medición de microtrepidaciones en Univalle. .	206
Figura 71. Ejemplo de selección de señal de vibraciones ambientales	209
Figura 72. Ejemplo de señal muy ruidosa descartada.....	210
Figura 73. Corrección de la línea base (a) antes y (b) después	211
Figura 74. Procedimiento para obtener la relación espectral H/V.....	213
Figura 75. Ejemplo de lectura del pico fundamental y su rango	214
Figura 76. Distribución de los periodos resultantes	221
Figura 77. Distribución de reportes de vibraciones inducidas por conciertos. ..	229
Figura 78. Edificaciones de mas de cinco pisos en la zona de estudio	231
Figura 79. (a) Graderías (esquema) y (b) distribución del público, Coliseo El Pueblo, (20 de junio del 2001).....	232
Figura 80. Frecuencias vs amplitudes, Coliseo El Pueblo.....	235
Figura 81. Dispersión de frecuencia vs ampliud en Alcalá y atenuación.	236
Figura 82. Casos de atenuación con la distancia.	238

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Periodos característicos de vibración de ondas sísmicas.....	27
Tabla 2. Algunos cocientes de Poisson (según Salem, 2000).....	34
Tabla 3. Velocidades típicas de ondas P.....	38
Tabla 4. Estaciones en la Cuenca de Cañaveralejo.....	60
Tabla 5. Parámetros morfométricos de las cuencas de los ríos Cali, Cañaveralejo, Meléndez y Lili.....	62
Tabla 6. Reportes de sismos con daños en Cali por periodos.....	86
Tabla 7. Sismos con daños en Cali y sus fuentes sismogénicas.....	90
Tabla 8. Sismos con daños en la zona de estudio y sus fuentes sismogénicas.	91
Tabla 9. Métodos geofísicos usados en ingeniería civil.....	96
Tabla 10. Ventajas y desventajas de la refracción y reflexión sísmica	97
Tabla 11. Comparación de métodos de cálculo e interpretación de refracción sísmica.	120
Tabla 12. Ensayos de refracción sísmica	138
Tabla 13. Resultados de mediciones de la onda P.....	150
Tabla 14. Resultados de la relación de Poisson.....	159
Tabla 15. Fuentes primarias de ondas sísmicas.	161
Tabla 16. Clasificación de los suelos según la metodología de Kanai (1954) ..	166
Tabla 17. Criterios para selección de sitio de registro de microtrepidaciones según Stal & Westberg (1996).....	189
Tabla 18. Sitios de medición de vibraciones ambientales.	201

Tabla 19. Mediciones de microtrepidaciones en Alcalá (alc)	204
Tabla 20. Mediciones de microtrepidaciones en Colegio Politécnico (ptd)	204
Tabla 21. Sitio medición de microtrepidaciones Coliseo El Pueblo (clp)	205
Tabla 22. Mediciones de microtrepidaciones, iglesia Santa Isabel (isa).....	205
Tabla 23. Mediciones de microtrepidaciones, Univalle (unv).....	206
Tabla 24. Mediciones en Parque San Antonio (san).....	207
Tabla 25. Pasos de procesamiento y análisis de señales: rutinas de MatLab..	212
Tabla 26. Señales seleccionadas, duración, frecuencia fundamental y frecuencias de corte.	215
Tabla 27. Amplitudes resultantes de las mediciones de Nakamura.....	216
Tabla 28. Tabla de amplitudes de f_0 con respecto al sitio San Antonio.....	218
Tabla 29. Periodos resultantes de las mediciones de microtrepidaciones.....	218
Tabla 30. Aceleraciones registradas en Univalle por sismos.....	220
Tabla 31. Frecuencias típicas durante conciertos	223
Tabla 32. Edificios con reportes de vibraciones inducidas por conciertos en la Plaza de Toros.	228
Tabla 33. Edificio con reportes de vibraciones inducidas durante conciertos en el Coliseo El Pueblo.	230
Tabla 34. Sitios de registro y equipos.....	233
Tabla 35. Velocidades máximas medidas en tres puntos durante el concierto de los Fabulosos Cadillacs del 20 de junio del 2001.....	234

LISTA DE ANEXOS

- Anexo A.** Catálogo macrosísmico para Cali.
- Anexo B.** Espectros (H y V) y cociente espectral H/V de las señales seleccionadas.
- Anexo C.** Lecciones aprendidas.