VIBRACIONES INDUCIDAS POR RECITALES

A partir de los años 90 comenzaron a surgir en diversos países inconvenientes en los estadios donde se realizaban recitales dado que inducían vibraciones en edificios cercanos a los espectáculos. Esto se fundamenta en que los estadios se diseñaban teniendo en cuenta principalmente las cargas estáticas. El publico de espectáculos deportivos no generaba eventos armónicos, y en general no había edificaciones en las proximidades.
El advenimiento de espectáculos musicales, en particular los de música rock en donde el publico ingresa al campo de juego y desarrolla el baile denominado "pogo" (Anexo 1) cuya frecuencia determinada por el tiempo musical del rock es de 2 a 2,4 Hz (ciclos por segundo), excita las frecuencias naturales de edificios cercanos, trasportándose a través del suelo con las características dinámicas de micro sismos. Si los estadios y edificios no están diseñados dinámicamente para evitar la influencia de las vibraciones, se generan inconvenientes como los que ocurren en la zona de Belgrano, y las explicaciones posteriores están sembradas de dudas, como el apuntalamiento por fisuras en este edificio de Ibera y Montañeses e innumerables fisuras en las casas aledañas a las zonas de recitales.

Por las medicines realizadas durante los recitales de AC DC en el estadio de River, en dos edificios próximos, uno sobre Figueroa Alcorta y el segundo en Avda Libertador se pudo corroborar que hay vibraciones inducidas por el publico asistente al recital.

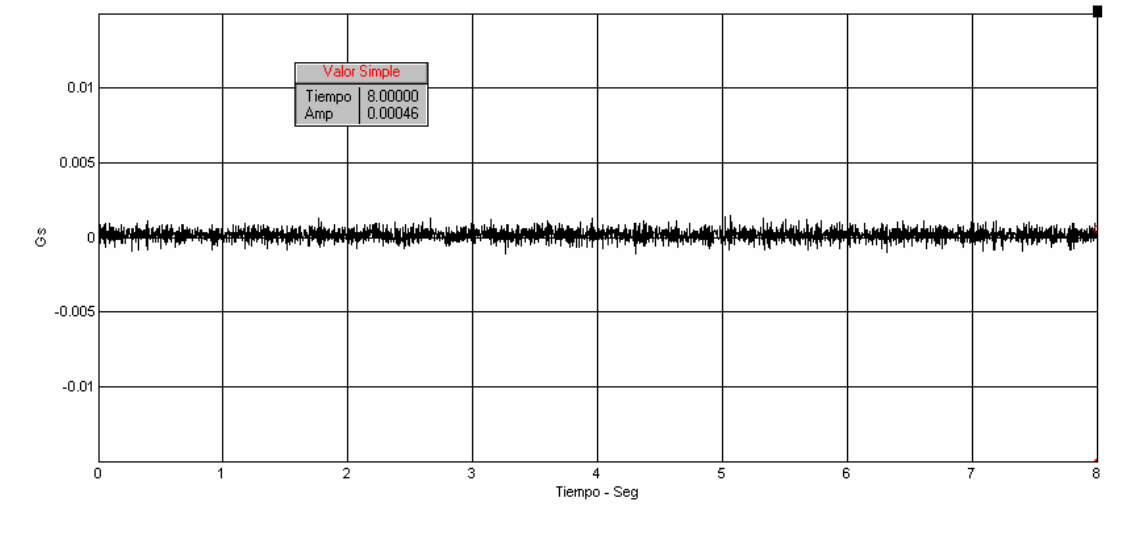
Las vibraciones causan malestar y temor en las personas. Con respecto a los edificios no sabemos que puede ocurrir, hay zonas sensibles como los tanques de agua, cañerías de gas y agua, esfuerzos de corte o torsión sobre las columnas, momentos flectores no previstos en los diseños, fisuras, etc.
No todos los recitales producen el mismo efecto, hemos observado que dependen de la cantidad de publico, del tipo de música, etc.

Uno de los antecedentes de estos eventos vibratorios en otros países es el sucedido en la ciudad de Cali, Colombia en los años 90, con el coliseo El Pueblo donde actuaron entre otros Pablo Milanes, Shakira, Vilma Palma, grupo Mana, Fabulosos Cadillacs, etc. Se reportaron vibraciones en edificios ubicados hasta 1 km de distancia, por lo tanto las autoridades locales, con una actitud proactiva en defensa de los residentes, dispusieron estudios que nos resultan muy interesantes por la similitud de los efectos.
En el Anexo 2 se muestra parte del informe , que se puede obtener de Internet

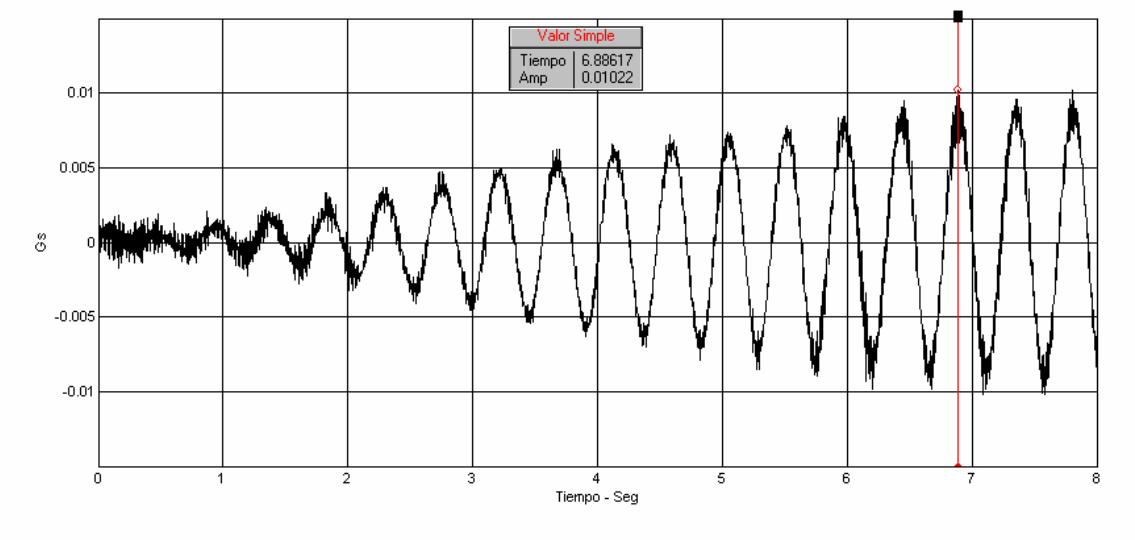
MEDICIONES EN AVDA LIBERTADOR 7304 EN EL TRANSCURSO DEL RECITAL EN EL CUB RIVER DE AC DC

Estas mediciones se realizaron cotejando la información telefónica de asistentes al espectáculo quienes indicaban cuando se iniciaban los movimientos del publico, lo cual coincidió con las oscilaciones de los edificios.

1- Estado normal del edificio antes del concierto: No se observan vibraciones en el edificio como lo muestra este diagrama de 8 segundos de duración, en unidades de aceleración g:

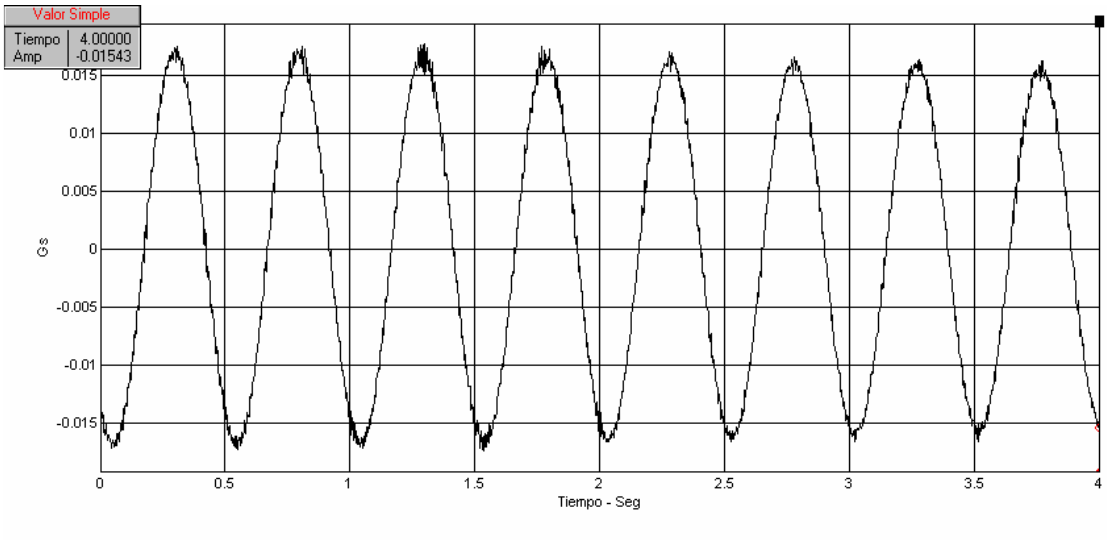


2- Los asistentes al recital inician sus movimientos rítmicos, y en el diagrama temporal se observan claramente las oscilaciones del edificio en aumento.
21:16:26 Hs

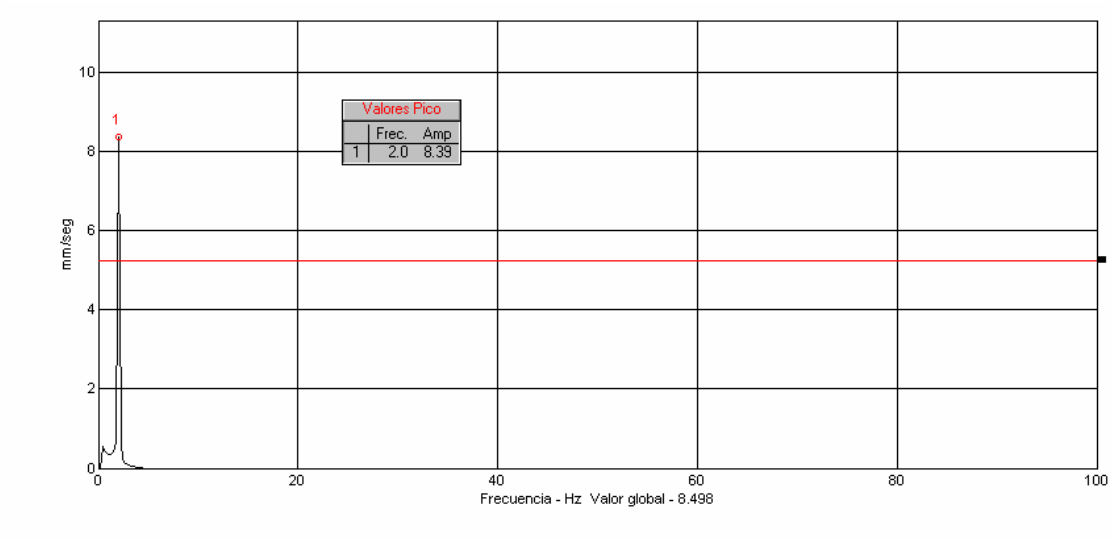


3- Movimiento del edificio con el publico saltando (pogo) 22:47:39

Los movimientos son periódicos, aplicando la FFT en el espectro inferior apreciamos que la frecuencia es de 2 Hz (ciclos por segundo) con una amplitud **de 8,4mm/seg rms (0,017 g).**

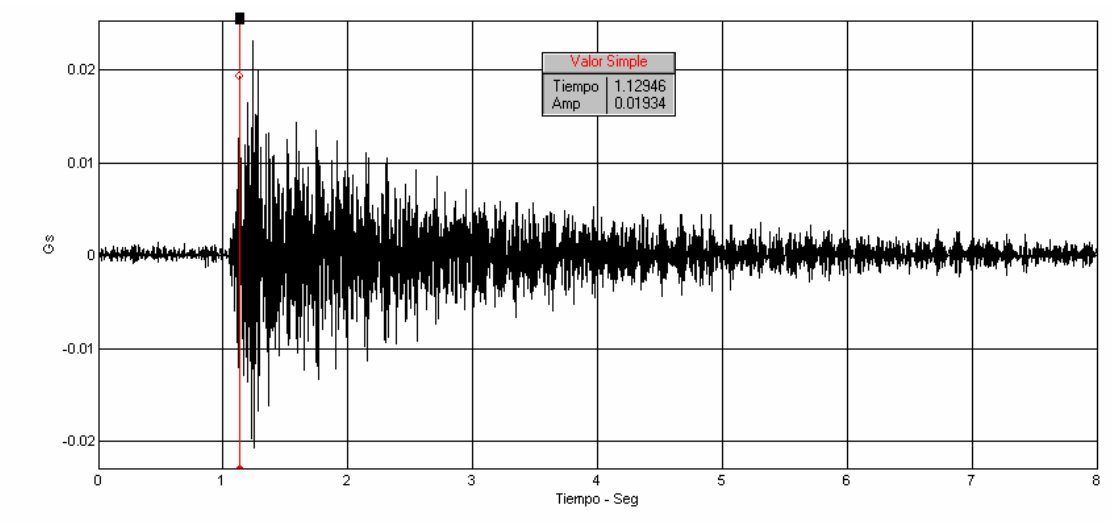


FFT: 2 Hz



3- En varias oportunidades se detectaron fuerzas impulsivas sobre el edificio como este fuerte impacto de 0,04 g y su amortiguamiento en aproximadamente 5 segundos

21:37:27



EVALUACION DE LA MAGNITUD DE LOS MICRO SISMOS

Para evaluar la magnitud de estos eventos, se pueden analizar tres aspectos:

1. por la magnitud de las vibraciones
2. por la incidencia en las personas y edificios
3. por el modo vibratorio

1. Por la magnitud de las vibraciones

La medición de la amplitud se realiza con sismógrafos colocados en distintos edificios de tal manera que permita realizar un mapeo sobre la influencia en distintos sectores y durante todo el recital.
El INSTITUTO NACIONAL DE PREVENCION SISMICA – INPRES localizado en San Juan. posee aproximadamente 50 acelerógrafos para analizar este tipo de vibraciones,
La escala Ritcher representa la energía sísmica liberada (Anexo 3)

2. Por la incidencia en las personas y edificios

Mercali estableció 12 escalas para evaluar la incidencia de los sismos de acuerdo a la percepción de las personas (Anexo 4). La escala 0 es imperceptible, la 12 es destrucción total. En la escala 3 se trata de movimientos perceptibles, movimiento de lámparas, cuadros, etc.
Este cuestionario es lo que primero se debió haber realizado.

3. Por el modo vibratorio:

Las vibraciones no solo deben juzgarse por su amplitud, también interesa la forma del movimiento que imprimen a los edificios. Por ejemplo hay que medir vibraciones en los tres ejes (x,y,z) y en ángulos de rotación, dado que si el edificio rota con centro en una columna seria muy perjudicial. Las columnas no están calculadas para la torsión, y tampoco para esfuerzos de corte. Los movimientos del suelo, o del edificio por causa de este según como se lo analice, crean momentos flectores sobre las fundaciones, no previstas en los diseños.
Las vibraciones impulsivas son impactos que repercuten en la estructura y fundaciones.
El análisis modal se realiza con analizadores de vibraciones multicanales y se representan luego el movimiento del edificio con software específicos.

También se debe tener en cuenta que los edificios construidos en zonas sísmicas están diseñados para resistir estos esfuerzos (Reglamento Inpres-Cirsoc 103), pero en el caso del barrio de Belgrano los edificios no han sido calculados según este reglamento.

ANEXO 1

Pogo (baile)

De Wikipedia, la enciclopedia libre

El pogo es un baile que consiste en saltar y chocarse en grupo unos contra otros al ritmo de la música en un concierto.

Parece tener sus inicios en la música punk, y su invención se atribuye a Sid Vicious, bajista de Sex Pistols, durante un concierto de la banda, antes de formar parte de la misma. Al parecer en dicho concierto no había escenario, la banda tocaba al mismo nivel que el público, y como no podía ver nada empezó a saltar y a empujar.[*cita requerida*]

Así la versión arcaica de este baile perdura hasta nuestros días en el punk sin demasiadas modificaciones. Se baila con géneros de música fuertes como el punk, el hardcore, thrash metal, heavy metal, crust, etc. Además de los empujones, se incluyen todo tipo de expresiones y movimientos para expresar la potencia o tensión de la música y expresar las emociones de quien baila a través del ritmo. Sirve para liberar, a menudo de una forma controlada, emociones sobrecargadas, frustraciones, estrés, o tensiones violentas.

ANEXO 2

INFORME GENERADO EN CALI, COLOMBIA (SIC):

12.1 CARGA DINÁMICA Y FRECUENCIAS

Las personas en movimiento durante conciertos pueden saltar (generando fuerzas impulsivas) o bailar (generando fuerzas quasiperiódicas). Estos movimientos son continuos y rítmicos durante las canciones. En ocasiones, dependiendo del tipo de música, parte del público puede saltar coordinadamente.

En la Tabla 31 se presentan las frecuencias típicas de diferentes movimientos durante conciertos o partidos de fútbol.

Tabla 31. *Frecuencias típicas durante conciertos*

Tipos representativos de actividades	*Tasa de actividad*	***Frecuencia, Hz***
Saltar	*Normal*	*2,0 - 3,0*
	Alto	*2,0 - 3,0*
Bailar		*2,0 a 3,0*
Aplaudir de pie con saltos		*1,6 ó 2,4*
Aplaudir	*Normal*	*1,6 ó 2,4*
	Intenso	*2,0*
Oscilación lateral del cuerpo	*Sentado*	*0,6*
	Parado	*0,6*

Ji & Ellis (1999) evaluaron la definición de la masa de las personas utilizada para el diseño de pisos de baile. Después de una serie de ensayos de laboratorio encontraron que una persona en movimiento sobre una estructura actúa como una fuerza (variable quasiperiódica) cuando salta y como un sistema masa resorte amortiguado cuando esta sentada o parada.

12.1.1 Definición.

Las cargas dinámicas generadas por personas en movimiento (saltando, aplaudiendo, bailando) inducen vibraciones a las estructuras y éstas al medio. Las vibraciones inducidas por la carga dinámica durante conciertos varían con el tiempo y se conocen como vibraciones no estacionarias (según definición de p.ej. Piersol, 1996), pero si las propiedades promedio de las vibraciones no cambian rápidamente durante un lapso de tiempo determinado pueden ser consideradas como estacionarias (ibid).

El caso objeto de estudio en este capítulo son las vibraciones inducidas por el movimiento del terreno en edificios, que a su vez ha sido inducido por las

vibraciones generadas durante conciertos.
Las vibraciones inducidas en estructuras por una carga de impacto pueden ser estudiadas a partir del momento en que se termina la excitación, como la respuesta de la estructura a dicha carga (p. ej. Mejia, 1991). Por su parte y por su carácter continuo las vibraciones inducidas durante conciertos por personas en movimiento (saltando, aplaudiendo acompasadamente, bailando, brincando) deben ser estudiadas durante los lapsos de duración de la actividad, coincidente con las canciones, cuando el público salta (a veces coordinadamente al compás de la música rock), cuando el público pide repetición y/o zapatean coordinadamente y cuando el público hace la "la ola".

12.2 ANTECEDENTES.

Con motivo de los Juegos Panamericanos de Cali en 1971 se mejoró y amplió la infraestructura deportiva de la ciudad. En la zona de estudio, en donde estuvieron los campos deportivos de la Universidad del Valle (IGAC, 1958), en cercanías de la Plaza de Toros edificada en 1956, se construyeron el Coliseo El Pueblo y el Velódromo. En general toda esta infraestructura se diseñó para cargas estáticas, sin considerar la acción de personas en movimiento. Además, el comportamiento del público cambió en los últimos decenios de espectadores relativamente pasivos a acciones más dinámicas como aplausos rítmicos, oscilaciones laterales rítmicas de audiencia de pie o sentada, saltos, bailes, etc. (Barrios, et al 2000). Por otro lado, muchos de estos escenarios empezaron a ser utilizados para conciertos de música rock, pop, salsa, etc., con comportamientos masivos que incluyen lapsos de tiempo con movimientos rítmicos y euforia.
En coincidencia con fechas y horas de conciertos en la Plaza de Toros y el Coliseo El Pueblo, desde 1988 residentes de viviendas y edificios de la zona de estudio empezaron a reportar al OSSO ocurrencia de "movimientos sísmicos" que, en general, ocurrían entre las 21 y las 00 horas. Estos reportes incluían movimientos de objetos colgantes, sensación de mareo y, ocasionalmente, caída de objetos de estanterías. En una ocasión todo un edificio fue desocupado durante la noche por una sensación generalizada de molestia a causa de vibraciones inducidas por un concierto (Archivo macrosísmico, OSSO).
El tema fue motivo de discusión en el Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres, que previas reuniones con los arquitectos y diseñadores de la Plaza de Toros, recomendó a la Administración Municipal suspender los conciertos en ella. Por su parte, habitantes de la zona interpusieron una Acción de Tutela (AC-1343) con base en la cual el Juez falló a favor, ordenando al Alcalde suspenderlos, lo que ocurrió en 1993 (oficio Alcaldía No. 2758 de diciembre 3 de 1993).
Previamente, entre 1991 y 1992 el Departamento de Mecánica de Sólidos[30], (Mecánica de Sólidos, 1992) mediante Convenio con la Alcaldía y la Junta Administradora de Deportes del Valle del Cauca, realizó el que quizás fue el primer estudio de dinámica estructural con mediciones acelerométricas in situ en Colombia en un escenario deportivo en Colombia (Estadio Pascual Guerrero, Cali). Este Estudio encontró para los pórticos de la tribuna norte dos frecuencias fuertemente marcadas (1,9 y 2,4 Hz), una frecuencia longitudinal entre 2.3 y 2.4

Hz y un valor dominante en 4.2 Hz para un voladizo de la gradería.

12.2.1 Fuentes y reportes de vibraciones inducidas.

Conciertos en La Plaza de Toros.

Durante 1988 y años posteriores se programaron en la Plaza de Toros diversos conciertos de música rock en español (grupos Maná, Hombres G, Los Prisioneros) y de otras tendencias musicales como balada y merengue (Ricardo Arjona, Rocío Durcal, Ricardo Montaner y Jerry Rivera).

*La mayoría de estos conciertos indujeron vibraciones en el suelo que fueron sentidas en casas y edificios a 200 y 800 metros de distancia (Tabla 32, **Figura 77**). Los habitantes reportaron cosas como que: "las lámparas oscilan, los cuadros se tuercen, las matas se mueven, los techos se descomponen, caen objetos y se resquebrajan las paredes" (Archivo macrosísmico, OSSO).*

Debido a que las vibraciones incomodaban a los habitantes y a que generalmente tenían lugar entre las 21:00 h y 00:00 horas, como se dijo antes, los ciudadanos apelaron a la Alcaldía para solicitar prohibición de conciertos en la Plaza de Toros. El 3 diciembre de 1993, se produjo el oficio del Alcalde, suspendiendo los espectáculos en dicho escenario.

30 Hoy Escuela de Ingeniería Civil y Geomática (Universidad del Valle).

Conciertos en El Coliseo El Pueblo.

A continuación se detalla información de los reportes:

1. Concierto de rock en español: Vilma Palma & Vampiros.

Fecha: 7 de abril de 1995.

De cuatro apartamentos de ambas torres (pisos 2, 3 y 7) reportaron sentir aproximadamente 20 vibraciones con duración variable entre 7 y 15 segundos. Los habitantes de los apartamentos reportaron que oscilaban lámparas, cuadros y ropa en armarios; a nivel de tierra no se sentía nada (Archivo macrosísmico,
OSSO)

2. Concierto de Shakira (pop) y Cafetacuba (rock en español).

Fecha: 2 de marzo de 1996. Lleno total del Coliseo El Pueblo. Del séptimo y último piso de la Torre B se reportaron vibraciones. Un equipo del OSSO acudió a verificar reportando que se sintieron varios "sismos" o vibraciones de 10 s y una vibración de 4 minutos; en el último "evento", de las 23:35 horas, se sintió traquear el techo. Durante las vibraciones oscilaban lámparas y vibraron matas, porcelanas y un crucifijo colgado en la pared. Las vibraciones se reportaron
sentidas como incómodas por todos (Archivo macrosísmico, OSSO).

El 12 de mayo del 2000 se realizó otro concierto del grupo Vilma Palma & Vampiros en el Coliseo El Pueblo, el cual no generó vibraciones perceptibles en el edificio Alcalá. En esta ocasión el grupo interpretó música más suave (balada pop) y el público no estuvo eufórico.

***Figura 77**. Distribución de reportes de vibraciones inducidas por conciertos.*

Tabla

Velocidades registradas.

De todos los registros las mayores velocidades (Tabla 35) se presentaron durante la canción Matador, con registros máximos de 1,60 mm/s en Coliseo, seguido de Alcalá con 0,47 mm/s y por último Terraza con 0,001 mm/s.

Tabla 35. *Velocidades máximas medidas en tres puntos durante el concierto de los Fabulosos Cadillacs del 20 de junio del 2001.*

Componente	***N***	***E***	***V***
Sitio	***mm/s***	***mm/s***	***mm/s***
Coliseo	*1.23*	*0.43*	*-1.60*
Alcalá	*0.47*	*0.17*	*0.4*
Terraza	*0.001*	*0.0009*	*0.0005*

Contenido frecuencial.

Las señales seleccionadas (canciones) fueron tratadas en el dominio de las frecuencias a través de la Transformada Rápida de Fourier (FFT).
Para cada señal identificada como "canción" en Coliseo y Alcalá, se leyeron las máximas amplitudes con sus correspondientes frecuencias. Los espectros mostraron un pico predominante en Coliseo y de tres a cuatro armónicos asociados. La dispersión de las parejas de datos para Coliseo (frecuencia amplitud) se presenta en la Figura 80. En la figura el pico predominante está afectado por la respuesta del sensor no plana en el rango < 4.5 Hz. Por su parte en Alcalá se presentó un pico predominante (alrededor de 2 Hz) y los armónicos se presentaron muy atenuados, o no se alcanzaron a distinguir (Figura 81).

El informe continua y consta en Internet:

http://www.osso.org.co/docu/tesis/2001/comportamiento/vibraciones.pdf

ANEXO 3

Escala Ritcher

Representa la energía sísmica liberada en cada terremoto y se basa en el registro sismográfico.
Es una escala que crece en forma potencial o semilogarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento de energía diez o más veces mayor. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor.

Magnitud en Escala Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

ANEXO 4

ESCALA MERCALI

Los grados no son equivalentes con la escala de Richter. Se expresa en números romanos y es proporcional, de modo que una Intensidad IV es el doble de II, por ejemplo.

Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable
Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.
Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables . Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en la personas que guían vehículos motorizados.

Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.
Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Objetos lanzados en el aire hacia arriba.