



Revista de la Construcción

ISSN: 0717-7925

revistadelaconstruccion@uc.cl

Pontificia Universidad Católica de Chile
Chile

MORÁN PROAÑO, M.; ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, O.

Investigación de las vibraciones por tráfico en las construcciones patrimoniales de adobe

Revista de la Construcción, vol. 11, núm. 2, agosto, 2012, pp. 39-53

Pontificia Universidad Católica de Chile

Santiago, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=127625512008>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Research of adobe

heritage buildings

by traffic vibration

Investigación de las vibraciones por tráfico en las construcciones patrimoniales de adobe



Autores

MORÁN PROAÑO, M.

Pontificia Universidad Católica del Ecuador,
técnico@mmingeneria.ec
Quito, Ecuador

ÁLVAREZ RODRÍGUEZ, O.

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría,
oar@civil.cujae.edu.cu
La Habana, Cuba

Fecha de recepción 16/06/2012

Fecha de aceptación 17/07/2012

Resumen

Para investigar sobre la respuesta dinámica ofrecida por los muros de mampostería de adobe en las construcciones antiguas solicitadas por tráfico vehicular pesado, se tomó como muestra a varias edificaciones representativas de esta tipología constructiva, localizadas en la calle Juan Jaramillo de Cuenca, Ecuador. En los inmuebles de la muestra se obtuvieron registros acelerográficos ocasionados por el tráfico vehicular; al respecto, debe considerarse que en la actualidad, los muros están integrados por *segmentos de muro*, discretizados y fisurados por la acción sísmica. La interpretación de los resultados dinámicos fue discutida en función de la importan-

cia y de los principios conservacionistas del patrimonio cultural, así como de los valores máximos admisibles de respuesta, establecidos en las normativas internacionales. En torno al resultado de la investigación: los comentarios enfatizan sobre el comportamiento estructural de los muros agrietados de mampostería de tierra sometidos a microvibraciones; las conclusiones, por su parte, sintetizan los efectos de las vibraciones ambientales que el tráfico vehicular ocasiona en la estabilidad y degradación muraria. Se concluye sugiriendo algunas recomendaciones para la protección del patrimonio construido en mampostería de tierra.

Palabras clave: Tipología constructiva, patrimonial, respuesta dinámica, micro vibraciones, fisuración.

Abstract

Based on the traditional constructive typologies of a existing street of Cuenca (Cultural Heritage), a representative of the buildings sample was selected heritage buildings of adobe and adobón masonry; for the dynamic study response of the buildings to heavy traffic vehicular.

Those buildings of the sample obtained recorded acelerogramas of dynamic behaviour of response by the traffic, whereas in seismic areas the adobe masonry systems are shaped by segments of cracking wall by the material failure. The interpretation of

the results of the dynamic response measurements was made for 'segments walls' as representative of system walls in adobe masonry; and finally technique discussed depending on the permissible maximum values in some international regulations. Some comments emphasizes the structural behaviour of adobe masonry and criteria of stability and degradation and are highlighted in the conclusions by the environmental microtremors for vehicular traffic, the article ends with some recommendations for the protection of the heritage built in adobe masonry.

Keywords: Constructive type, heritage, dynamic response, Microtremors, Cracking wall.

Introducción

Al considerarse que la preservación del Patrimonio Cultural edificado en mampostería de tierra es una responsabilidad universal del hombre, se desarrolló una investigación para determinar el grado de afectación que las vibraciones ambientales por tráfico vehicular podrían causar en esta tipología constructiva. La muestra, fueron edificaciones del Centro Histórico de Cuenca (Ecuador), localizadas en la calle Juan Jaramillo, considerada como arteria principal para la movilidad vehicular.

Como conclusión, el estudio enfatiza sobre las formas de respuesta dinámica de los muros fisurados de las construcciones patrimoniales de tierra, e incluye algunas recomendaciones en torno a las técnicas más adecuadas para mitigar el impacto señalado en las construcciones existentes, según lo determinan las normativas internacionales para vibraciones ambientales producidas por el tráfico vehicular.

Objetivos

- Probar, de manera científica y objetiva, si existen o no afectaciones y daños en los muros de las edificaciones patrimoniales de mampostería de tierra (adobe, adobón), causadas por el tráfico vehicular
- Plantear, si fuera el caso, posibles soluciones y recomendaciones para mitigar el impacto.

1. Lineamientos adoptados para el estudio

Para alcanzar el objetivo del estudio se planteó un enfoque metodológico específico, basado en tres lineamientos:

1.1. Definición y selección de la muestra para el estudio

Para la selección de la muestra se consideraron los siguientes factores:

- **El material predominante en la construcción.** Se seleccionaron edificaciones de mamposterías de adobe y adobón con entrepisos y cubierta de estructuras de madera, cuyo estado de conservación aseguraba una acción de arrostramiento con los muros.

- **El estado de degradación y/o fisuración de los muros y de los sistemas de entrepiso y cubierta;** se consideraron y observaron los daños por la actividad sísmica, las intervenciones inconsultas y/o las afectaciones por asentamientos y desplazamientos del suelo de cimentación¹.
- **Las observaciones cualitativas de la degradación y fisuración** se realizaron en los muros interiores y exteriores donde eran visibles pues, por lo general, estas se encuentran ocultas por las acciones de mantenimiento superficial.

1.2. Instrumentación de las construcciones seleccionadas

La instrumentación se realizó para obtener registros acelerográficos sobre la respuesta dinámica del suelo y los muros por causa del tráfico vehicular. La localización de los sensores de movimiento (acelerógrafos) en los muros, fue seleccionada para que los resultados faciliten la interpretación de la respuesta dinámica de las dos componentes horizontales del movimiento.

1.3. Interpretación y análisis de los resultados dinámicos

El estudio de los espectros permitió establecer los valores de la amplificación de respuesta (aceleración, desplazamiento) de los muros de tierra de las construcciones.

La comparación entre los rangos de magnitud y los niveles de serviciabilidad determinados por las Normativas Internacionales para vibraciones ambientales², permitió establecer los rangos de aceptabilidad o afectación de las vibraciones por el tráfico vehicular en las edificaciones de mampostería de tierra.

Gracias a los lineamientos metodológicos descritos, se obtuvo información suficiente para establecer si el tráfico causó o no, algún tipo de afectación o degradación en las edificaciones similares a la de la muestra en la calle de estudio.

1 Cuenca está situada en un área sismogénica activa dentro del Cinturón de Fuego de Pacífico, volcanismo y tectonismo.

2 Norma ISO 6897, Norma ISO 2631, ISO 2631 – 77, Norma DIN 4150 (part. 3).

2. Tipología de las edificaciones en el sitio de estudio

Ubicación del sitio: La calle Juan Jaramillo, localizada en el Centro Histórico de la ciudad de Cuenca, es calificada como de alto tráfico vehicular en una longitud de 800 m (11 cuadras). La mayoría de sus casas son antiguas construcciones de tierra, de tipología clásica, de una y dos plantas. Otras, son edificaciones mixtas de adobe-ladrillo, y las últimas de hormigón armado de tres y cuatro pisos.

Fig. 1: Localización de la calle Juan Jaramillo en Cuenca, Ecuador



2.1. Estado actual y patología de las edificaciones de mampostería de tierra (adobe)

En la mayoría de casos, las plantas bajas de las casas existentes han sido intervenidas y adecuadas para uso comercial, reservándose los pisos altos para residencias y oficinas.

Las edificaciones construidas con mampostería de adobe y adobón presentan trazas de agrietamientos y lesiones típicas del material, causados por la acción sísmica y por asentamientos del suelo de cimentación.

Otras patologías observadas que desestabilizaron los sistemas murarios tradicionales, pueden atribuirse a readaptaciones no adecuadas para cambios de uso.

Pocas edificaciones, como el caso del Hotel Príncipe, por ejemplo, conservan sus formas tradicionales gracias a un buen mantenimiento. Otras, abandonadas y carentes de cuidado, son una amenaza para moradores y transeúntes, por el acelerado envejecimiento de los sistemas estabilizantes de entrepiso y cubierta.

Fig. 2: Hotel Príncipe, casa de adobe y ladrillo en buen estado



Fig. 3: Casas en regular estado, abiertas al comercio en planta baja



3. Selección de la muestra para el estudio

Para el estudio, se escogieron a seis edificaciones antiguas en mampostería de tierra que son representativas de las construcciones patrimoniales más vulnerables de la calle seleccionada. Esta muestra permitió establecer de qué manera el tráfico vehicular actual, puede o no puede influir en la preservación del patrimonio edificado y en la seguridad de los usuarios.

Los criterios de selección de la muestra se describen a continuación:

3.1. Selección de la muestra por la tipología constructiva

Se identificaron y seleccionaron construcciones con predominio de muros de mampostería de tierra (adobe) y mamposterías mixtas de adobe y ladrillo, así como aquellas que por su arquitectura fueron calificadas como antiguas y patrimoniales.

Para la selección se consideró, además, al estado actual de conservación y de respeto a las tipologías propias de la construcción en tierra, sintetizadas en las formas tradicionales y en los detalles arquitectónicos.

3.2. Selección por el estado actual de degradación muraria

Este parámetro de selección es la aplicabilidad de la "calificación cualitativa de estado actual"³ de fisuración y degradación de los muros de mamposterías de tierra, producidos por sismos, asentamientos del suelo, e intervenciones inadecuadas; considerándose la hipótesis que los agrietamientos individualizan segmentos de muro y cuya respuesta dinámica a las microvibraciones del tráfico vehicular, es el objetivo del estudio.

Un ejemplo de evaluación muraria por la calificación cualitativa de estado actual, se encuentra en el Anexo 1.

4. Estudio del comportamiento dinámico de los muros patrimoniales de adobe por tráfico vehicular

4.1. Antecedentes

Los muros agrietados de las edificaciones antiguas de tierra (adobe, ladrillo, adobón), evidencian la vulnerabilidad sísmica de esta tipología constructiva, y la fragilidad del material (adobe), cuyo resultado es la discretización de los muros en segmentos independientes, arrostrados entre sí por los sistemas de entrepisos de madera y la viga solera de cubierta.

Los muros discretizados constituyen una nueva forma de estructura muraria cuyo comportamiento dinámico no ha sido científicamente definido. En este estudio se trata de medir y definir la respuesta a las vibraciones de cada segmento⁴ en el estado actual de discretización.

En este contexto de muro agrietado, la forma arquitectónica (geometría) de la trama muraria de las edificaciones no influye en la respuesta dinámica del conjunto. Como ya se señaló, el comportamiento de los muros discretizados a las solicitaciones dinámicas es referido a un elemento independiente del muro.

En consecuencia, los registros de las mediciones de frecuencias y desplazamientos en muros patrimoniales (antiguos) de tierra, son interpretados como la respuesta dinámica de un segmento de muro limitado por dos fisuras contiguas, "unido"⁵ a los sistemas externos de arrostramiento (entrepiso y cubierta).

4.2. Estudio de los parámetros dinámicos para edificaciones en tierra

Los modelos matemáticos, desarrollados para estructuras de materiales elásticos, no son aplicables para definir el comportamiento estructural de los segmentos individualizados de los muros de adobe, adobón y ladrillo.

Para esta investigación las mediciones de la respuesta dinámica por tráfico vehicular de los sistemas murarios

3 La calificación cualitativa del estado actual de las edificaciones de adobe, fue realizada mediante el uso de formularios desarrollados por M. Morán (1989), en función de la observación sistemática de los daños murarios por sismo y degradaciones de los elementos estructurales de *protección muraria*.

4 Morán M., Memorias del Seminario Taller, *Reforzamiento Estructural en las Edificaciones Patrimoniales*, 2003, Municipio del Distrito Metropolitana de Quito, Fondo de Salvamento del Patrimonio Cultural.

5 "unido" = mecanismos de apoyo y arrostramiento de los entrepisos y cubierta a los muros de mampostería de adobe.

de mampostería de adobe, se realizaron por instrumentación de sensores de movimiento colocados en los muros a diferentes alturas (uno a nivel del suelo, y otro en el entrepiso), que registraron los principales indicadores dinámicos tales como: el período predominante, la aceleración, la velocidad y los desplazamientos, que fueron aceptados como la respuesta de un segmento de muro discretizado.

La comparación de los resultados (espectros de respuesta) entre los sensores localizados a nivel del suelo, con los obtenidos a nivel de entrepiso, permitió conocer la amplificación de la respuesta de los parámetros dinámicos.

4.2.1. Marco teórico para el estudio por microvibraciones

La técnica de la Relación Espectral H_s/V_s de Nakamura (1989), (Ver Anexo 4) es aplicable a micro vibraciones (micro sismos) producidos por el tráfico vehicular, pues permite obtener un registro aceptable y confiable de la respuesta dinámica de los muros agrietados y el período de los estratos superficiales de los suelos blandos, por eliminación de los efectos de fuente. Para el estudio en la calle J. Jaramillo, se aplicó los principios de la relación espectral H_s/V_s de Nakamura (1989), y las recomendaciones de Pierre (1998) relacionadas con la técnica de Relación Espectral H/V .⁶

4.2.2. Análisis de las microvibraciones en la muestra

Para el análisis los principales parámetros dinámicos (período, aceleración, velocidad, desplazamiento) se realizó un estudio estadístico considerando que las señales por tráfico vehicular son aleatorias y estacionarias para los siguientes parámetros:

- a) **Amplitud máxima.** Este parámetro se definió como la amplitud máxima pico (+) o (-) de los desplazamientos ocasionados por una señal dada, dentro del rango de 1.0 a 10.0 micrones.
- b) **Frecuencia dominante de vibración.** Para el tráfico vehicular la frecuencia de vibración del suelo fue analizada, tomando en cuenta que esta es una señal aleatoria por el efecto de la distancia

variable de la fuente (vehículo), donde las ondas de alta frecuencia (período corto) no son atenuadas significativamente, como sucede en el caso de fuentes estacionarias⁷. Cuando la respuesta del suelo es excitada por una señal aleatoria (tráfico vehicular), ofrece variaciones significativas, a la par que idénticas en todos los demás aspectos. Por esta razón, el concepto de "frecuencia dominante de vibración" se utilizó para determinar la respuesta máxima cuando es excitada por diferentes frecuencias.

- c) **Velocidad máxima de partículas⁸ (v).** Es uno de los parámetros que mejor se correlaciona con el comportamiento de las edificaciones en tierra. Para la determinación de la velocidad de partícula, se consideró a los registros de aceleración que contengan una señal armónica con la aplicación de las siguientes relaciones de aproximación entre los valores máximos de los desplazamientos, velocidades y aceleraciones:

$$u = v/\omega = a/\omega^2; \text{ de donde: } v = a/\omega$$

- u = Amplitud máxima del desplazamiento; v = amplitud máxima de la velocidad; a = amplitud máxima de aceleración; w = frecuencia de vibración (rad/s)
- v = Velocidad máxima de partícula

- d) **Espectros de respuesta del suelo.** La respuesta de un cuerpo (estructura) tiene diferentes modos de vibración asociados a cada frecuencia. Si se selecciona una señal específica de entrada cuya frecuencia coincida con su par del modo correspondiente, el modo de vibración para la frecuencia más alta, se denomina período o frecuencia fundamental de vibración.

Al excitar un muro de mampostería de tierra con una señal de frecuencias aleatorias (tráfico vehicular), se obtiene una respuesta que es fruto de la contribución de los diferentes factores de ponderación de cada uno de los modos de vibración. Los factores de ponderación son constantes para cada estructura y dependen de su período fundamental. Así, un segmento de muro entre dos fisuraciones contiguas, es un cuerpo de un grado de libertad, definido por la rigidez (K) y

⁶ García, E. 2008. Informe del Estudio de Vibraciones por Tráfico Vehicular, "Obtención de los Parámetros Dinámicos de la Edificaciones Solicitadas por el Ing. Mario Morán", Cuenca, agosto de 2008

⁷ Las altas frecuencias (período corto) se filtran en la superficie, atenuándose con la distancia, mientras que las ondas de baja frecuencia se mantienen inalterables.

⁸ La velocidad de partículas es diferente a la velocidad de propagación de la onda.

la masa (M), cuyo período de vibración fundamental no amortiguado (T) está dado por:

$$T= 2 \pi/\omega= 2\pi (M/K)^{1/2}$$

Si el proceso se repite modificando el período de vibración natural del cuerpo mediante variaciones de (K) y/o (M), dejando las demás variables no modificadas, se obtiene un gráfico que relaciona los valores del período (T) con la máxima respuesta en términos de aceleraciones, velocidades y desplazamientos. Dichos gráficos son los *Espectros de Respuesta* para un coeficiente de amortiguamiento dado.

Para el presente trabajo, se eliminó las frecuencias que no interesan al estudio (frecuencias bajas < 0.1 Hz) y, sobre la base de los registros de aceleraciones, por integración se obtuvo las velocidades y desplazamientos de cada punto de un muro instrumentado; finalmente, se determinó el *espectro de amplitud de la señal original*, como un indicador de amplificaciones del movimiento en función de la frecuencia, para la respuesta dinámica de un muro de mampostería de tierra excitada por el tráfico vehicular⁹.

5. Obtención de registros acelerográficos

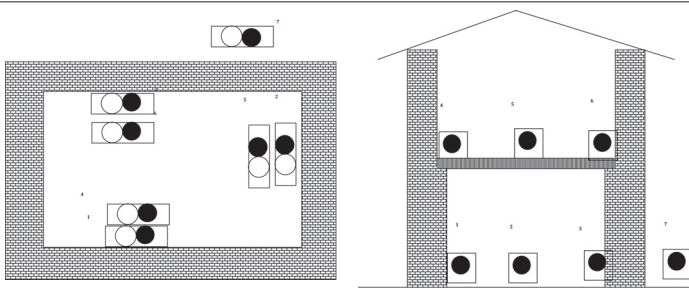
5.1. Instrumentación de los muros:

En las edificación de la muestra se instrumentó los siguientes muros: de fachada, posterior (paralelo al de fachada), e intermedio normal al de fachada¹⁰ con sensores en dos niveles: uno, en el piso de planta baja, y otros, a nivel del entrepiso. Adicionalmente, se instrumentó un punto de referencia a nivel del suelo para obtener lecturas sin ruido (sin tráfico).

5.2. Resultados de las mediciones dinámicas por tráfico vehicular en las edificaciones de la muestra

Las amplificaciones de la respuesta de los muros, tanto en el plano del muro, como fuera de él se resumen de la Tabla 2¹¹ y son referidas a la frecuencia fundamental promedio y a la amplificación (ganancia) de acuerdo con la ubicación de los muros con respecto a calle, o a la fuente de vibración (tráfico vehicular).

Tabla 1. Esquema de ubicación de sensores

Localización	P. Baja	P. Alta	Localización
1 Muro de fachada (X-X)	•		
2 Muro lateral (Y-Y)	•		
3 Muro posterior (X-X)	•		
4 Muro de fachada (X-X)		•	
5 Muro lateral (Y-Y)		•	
6 Muro posterior (X-X)		•	
7 Punto de referencia	•		
			PLANTA
			ELEVACIÓN

⁹ En el Anexo 2, se presenta las especificaciones del equipo utilizado para las mediciones y las recomendaciones observadas en el proceso.

¹⁰ La localización de los sensores se presentan esquemáticamente en la Tabla 1.

¹¹ El resumen de la Tabla 2. fue tomado de: García, E. 2008. *Informe del Estudio de Vibraciones por Tráfico Vehicular*, "Obtención de los Parámetros Dinámicos de la Edificaciones Solicitadas por el Ing. Mario Morán", Cuenca, agosto de 2008.

Tabla 2. Resumen de resultados de Frecuencias (f) y Ganancias (Amplif.)

Muestra	Muro frontal			Muro lateral			Muro posterior		
	f (Hz)	T (seg)	Amplif.	f (Hz)	T (seg)	Amplif.	f (Hz)	T (seg)	Amplif.
1 Flia. Tenorio Carpio	1,56	0,64	4,00	4,01	0,25	1,10	1,28	0,78	1,40
2 Imprenta León	6,78	0,15	2,50	0,41	2,46	2,25	1,18	0,85	6,00
3 Sra. Maruja Vega	3,09	0,32	7,00	0,93	1,08	17,50	3,12	0,32	4,00
4 Hotel Príncipe	0,60	1,68	9,50	5,95	0,17	1,90	5,80	0,17	4,00
8 Flia. Orqueda	1,41	0,71	3,50	0,80	1,25	2,60	1,34	0,75	2,50
6 Colecc. Jorge Moscoso	6,70	0,15	3,00				3,70	0,27	2,20
14 Sra. María Moscoso	4,65	0,22	1,70	2,27	0,44	1,30	2,84	0,35	1,00

Nota: La muestra No. 14 de la Sra. María Moscoso, corresponde a una edificación similar a las de la muestra pero sin afectaciones de tráfico.

Tabla 3. Resumen de Aceleración (a), Velocidad (v) y Desplazamiento (e)

Muestra	Valores máximos			Valores promedio		
	a (cm/s ²)	v (cm/s)	e (cm)	a (cm/s ²)	v (cm/s)	e (cm)
1 Casa Flia. Tenorio Carpio						
Planta baja	0,099	0,025	0,010	0,079	0,010	0,004
Planta alta	0,155	0,003	0,002	0,087	0,002	0,001
2 Casa Imprenta León						
Planta baja	0,062	0,002	0,001	1,573	0,105	0,040
Planta alta	4,685	0,314	0,119	0,096	0,003	0,001
3 Casa Sra. Maruja Vega						
Planta baja	0,024	0,001	0,000	0,033	0,001	0,000
Planta alta	0,145	0,046	0,023	0,071	0,016	0,008
4 Casa Hotel Príncipe						
Planta baja	0,020	0,004	0,001	0,057	0,002	0,000
Planta alta	0,169	0,005	0,001	0,160	0,003	0,000
6 Casa Jorge Moscoso						
Planta baja	0,037	0,002	0,000	0,024	0,001	0,000
Planta alta	0,126	0,005	0,002	0,087	0,003	0,001
8 Casa Flia. Orquera						
Planta baja	0,577	0,010	0,007	0,087	0,004	0,003
Planta alta	0,022	0,001	0,002	0,059	0,002	0,001

Nota: Un ejemplo detallado de los resultados de las mediciones se presenta en la Tabla 1 del Anexo 3, correspondiente a la muestra No. 8: propiedad de la familia Orquera.

5.3. Discusión de los resultados

Los resultados de las Tablas 2 y 3, evidencian que en un muro segmentado o discretizado de mampostería de tierra, la variación de la frecuencia entre las secciones próximas al suelo y las del entrepiso alto, depende de la intensidad del movimiento, la frecuencia predominante del suelo, la frecuencia fundamental del muro, la masa del segmento discretizado y la rigidez de los sistemas de entrepiso y cubierta. En este contexto, los desplazamientos y aceleraciones de respuesta a las microvibraciones del tráfico vehicular permanecen en rangos pequeños que no ejercen influencia alguna en la interacción suelo-muro¹², debido a que no inducen cambios en las condiciones de apoyo del muro sobre la cimentación, minimizando así el efecto del suelo en la respuesta dinámica.

Los resultados de la Tabla 3, son valores máximos espectrales detectados en los muros de las plantas baja y alta. La importancia de estos parámetros está vinculada con la respuesta de un muro ante una frecuencia determinada en términos de velocidades de partículas, aceleraciones y desplazamientos.

Conclusiones preliminares:

- Los resultados de la Tabla 2 son consistentes con lo citado ya que señalan amplificaciones de la frecuencia entre 2.5 a 3.5, para vibraciones fuera del plano en muros frontales (paralelos a la vía), y amplificaciones menores de 1.1 a 2.6 en el plano de muros laterales (normales a la vía), se evidencia así una mayor rigidez y menores desplazamientos en el plano del muro.
- Las amplificaciones (fuera del plano) de 1.4 a 4.0 en el muro posterior, son comparables con las del muro frontal (2.5 a 3.5), se concluye entonces que los dos muros, paralelos entre sí, tienen un comportamiento similar. La amplificación de 6.0 para el muro posterior de la muestra No. 2, es considerada como la respuesta atípica, correspondiente a una sección pequeña de muro o a la presencia de algún problema de ruido (interferencia) suscitado durante el ensayo.
- Los resultados de la Tabla 3¹³, fueron analizados y discutidos con los parámetros normativos interna-

cionales de serviciabilidad y seguridad, que juzgan el impacto causado por el tráfico vehicular en las edificaciones de la muestra.

6. Interpretación de los resultados dinámicos de respuesta

6.1. Límites normativos para la respuesta dinámica

Para determinar la serviciabilidad de una construcción de material elástico, las normas y literatura disponible¹⁴ se refieren a los parámetros de aceleración y de velocidad; mientras que las construcciones de mampostería de tierra, por su lado, para la serviciabilidad y seguridad de la edificación incorporan los parámetros de magnitud de desplazamiento y de velocidad de partícula, debido a las características inelásticas del material.

Tabla 4. Valores máximos de aceleración horizontal para frecuencias $0,063 < f < 1,000$ (Norma ISO 6897)

Frecuencia Hz Período (s)	Aceleración (m/s ²)	
	Umbral de Percepción	Mínimo Permissible labores críticas
0.063 (15.87)	0.0815	0.489
0.080 (12.50)	0.0735	0.441
0.100 (10.00)	0.0670	0.402
0.125 (8.00)	0.0610	0.366
0.160 (6.25)	0.0550	0.330
0.200 (5.00)	0.0500	0.300
0.250 (4.00)	0.0460	0.276
0.315 (3.17)	0.0418	0.250
0.400 (2.50)	0.0379	0.228
0.500 (2.00)	0.0345	0.207
0.630 (1.57)	0.0315	0.189
0.800 (1.25)	0.0285	0.171
1.000 (1.00)	0.0260	0.156

¹² Sarria, Alberto, *Ingeniería Sísmica*, Ediciones Unidas, Universidad de los Andes, Bogotá, D.E., Colombia, 1990.

¹³ Para el análisis se eliminó las frecuencias de los resultados de las muestras No. 3 y 4 para el muro frontal y el resultado de

la muestra No. 3 para el muro lateral por encontrarse fuera de rango.

¹⁴ Norma ISO 6897, Norma ISO 2631, ISO 2631 – 77, Norma DIN 4150 (part. 3).

6.1.1. (Norma ISO 6897)

Esta Norma establece los valores máximos aceptables de aceleración para un movimiento horizontal de baja frecuencia, entre 0,063 Hz y 1,0 Hz, en edificios de propósitos generales (Ver Tabla 4).

Aceleraciones mayores a los valores indicados, ocasionarán cierto riesgo para los ocupantes. Los límites señalados son el umbral de percepción de los usuarios. Para trabajos que requieran de precisión manual, los valores máximos de la Tabla 4, deberán multiplicarse por un factor de 6. Las tareas que se ubiquen por sobre estos valores, serán de difícil desempeño.

Tabla 5. Valores máximos de Aceleración para frecuencias $1.0 < f < 80.0$ Hz (Norma ISO 6897)

Frecuencia(Hz) Período (s)	a_z (m/s ²) (Vertical)	a_x - a_y (m/s ²) (Horizontal)
1.00 (1.00)	5.60	2.00
1.25 (0.80)	5.00	2.00
1.60 (0.625)	4.50	2.00
2.00 (0.500)	4.00	2.00
2.50 (0.40)	3.55	3.15
3.15 (0.32)	3.15	4.00
4.00 (0.25)	2.80	4.50
5.00 (0.20)	2.80	5.00
6.30 (0.16)	2.80	6.30
8.00 (0.125)	2.80	6.00
10.00 (0.100)	3.55	10.00
12.50 (0.080)	4.50	12.50
16.00 (0.062)	5.60	16.00
20.00 (0.050)	7.10	20.00
25.00 (0.040)	9.00	25.00
31.50 (0.032)	11.20	31.50
40.00 (0.025)	14.00	40.00
50.00 (0.020)	18.00	50.00
63.00 (0.016)	22.40	63.00
80.00 (0.012)	28.00	80.00

6.1.2. Norma ISO 2631

La Norma determina los valores máximos de aceleración de confortabilidad en tres ejes x, y, z¹⁵, para vibraciones entre 1.0 Hz y 80.0 Hz.

Los valores de la Tabla 5 son el umbral de confortabilidad; frente a valores mayores, las personas podrían sentirse indispuestas.

Frente a una vibración de tiempo de exposición muy corto, para frecuencias fuera del rango de máxima sensibilidad (entre 4 y 6 Hz para az; y, entre 1-2 Hz para ax y ay), una persona no sentirá movimientos bruscos hasta la aceleración límite de 10.0m/s² (1.0g); para valores mayores, la persona "saltaría".

Tabla 6. Desplazamiento máximo

Norma	Desplazam. mm
ISO 2631-77 Desplazamiento máximo para sensibilidad humana	3 - 5 mm

6.1.3. Norma ISO 2631-77

Esta Norma establece una *limitación al desplazamiento*, entre 3mm y 5mm, para controlar aspectos de la sensibilidad humana y afectaciones en materiales anelásticos.

Tabla 7. Valores referenciales para máxima velocidad Velocidad (mm/s)

Tipo de Edificación (Velocidad máxima de partículas)	Velocidad mm/s
Edificaciones antiguas en mal estado	25 mm/s
Edif. en muy mal estado de construcción	12 mm/s
Edificios con estructura de madera y paredes de mampostería.	12 mm/s
Edificaciones muy sensibles a vibraciones	8 mm/s
Velocidad máx. para control de daños	50 mm/s

¹⁵ El sistema de coordenadas está referenciado de la siguiente manera: x al frente, y lateral, z vertical

6.1.4. Otras referencias:

Los criterios relacionados con la velocidad máxima de partícula para evitar daños en las edificaciones, se transcriben en la Tabla 7. La velocidad de 50 mm/s es adoptada como un límite superior para evitar daños en las construcciones elásticas.

6.1.5. Norma DIN 4150 (parte 3)

Esta Norma establece los valores máximos de velocidad de partículas, para diferentes frecuencias de la onda y tipos de edificación con el fin de evitar daños en las construcciones.

Valores que superen a los máximos establecidos pueden generar daños visibles en los elementos murarios; estos límites se señalan en la Tabla 8.

Tabla 8. Valores Máximos de Velocidad (mm/s) según DIN 4150 Velocidad (mm/s)

Tipo de edificación	Frecuencia		
	< 10 Hz	10-50Hz	50-100 Hz
Comercial e industrial	20 mm/s	20-40 mm/s	40-50 mm/s
Viviendas y edificios	5 mm/s	5-15 mm/s	15-20 mm/s
Estructuras delicadas, sensibles a la vibración	3 mm/s	3-8 mm/s	8-10 mm/s

6.2 Estudio comparativo entre los parámetros dinámicos normativos y los obtenidos en la muestra

De acuerdo con el objetivo del estudio, se discutió los resultados en las mediciones de la muestra con los sugeridos por las normativas, para establecer los criterios sobre la vulnerabilidad de las edificaciones de mampostería de tierra, frente a las microvibraciones producidas por el tráfico vehicular de la calle J. Jaramillo.

Tabla 9. Cuadro comparativo de aceleraciones

Muestra #	Muro frontal Frecuenc. (Hz)	Accler. H (cm/seg ²)	Accler.V (cm/seg ²)	Norma aplicada	Accl.máx (cm/seg ²)	Calif.
01 Pb Flia.Tenorio	9.46	0.016	0.033	ISO 2631	280	Cumple
Pa	9.53	0.124	0.142	ISO 2631	280	Cumple
02 Pb Imprenta León	7.938	0.062	0.028	ISO 2631	280	Cumple
Pa	7.823	4.685	4.685	ISO 2631	280	Cumple
03 Pb M. Vega	3.999	0.013	0.211	ISO 2631	280	Cumple
Pa	3.112	0.055	0.022	ISO 2631	280	Cumple
04 Pb H. Príncipe	3.439	0.020	0.061	ISO 2631	280	Cumple
Pa	0.718	0.141	0.285	ISO 6897	18.9	Cumple
06 Pb J. Moscoso	7.707	0.037	0.029	ISO 2631	280	Cumple
Pa	0.718	0.050	0.045	ISO 6897	18.9	Cumple
08 Pb Flia. Orquera	4.375	0.577	0.146	ISO 2631	280	Cumple
Pa	3.656	0.022	0.110	ISO 2631	280	Cumple

Tabla 10. Cuadro comparativo de velocidades

Muestra #		Muro Frontal Frecuenc. (Hz)	Velocidad (cm/seg)	Norma aplicada	Veloc. máx (cm/seg)	Calif.
01 Pb	Flia. Tenorio	9.46	0.002	DIN4150	0.30	Cumple
Pa		9.53	0.003	OTRAS	0.80	Cumple
02 Pb	Imprenta León	7.938	0.002	DIN4150	0.30	Cumple
Pa		7.823	0.314	OTRAS	0.80	Cumple
03 Pb	M. Vega	3.999	0.001	DIN4150	0.30	Cumple
Pa		3.112	0.002	OTRAS	0.80	Cumple
04 Pb	H. Príncipe	3.439	0.004	DIN4150	0.30	Cumple
Pa		0.718	0.007	OTRAS	0.80	Cumple
06 Pb	J. Moscoso	7.707	0.002	DIN4150	0.30	Cumple
Pa		0.718	0.001	OTRAS	0.80	Cumple
08 Pb	Flia. Orquera	4.375	0.009	DIN4150	0.30	Cumple
Pa		3.656	0.001	OTRAS	0.80	Cumple

Tabla 11. Cuadro comparativo de desplazamientos

Muestra #		Muro Frontal Frecuencia. (Hz)	Desplaz. (cm)	Norma aplicada	Desplaz. máx. (cm)	Calif.
01 Pb	Flia. Tenorio	9.46	0.000	ISO 2631	0.300	Cumple
Pa		9.53	0.001	ISO 2631	0.300	Cumple
02 Pb	Imprenta León	7.938	0.001	ISO 2631	0.300	Cumple
Pa		7.823	0.119	ISO 2631	0.300	Cumple
03 Pb	M. Vega	3.999	0.000	ISO 2631	0.300	Cumple
Pa		3.112	0.000	ISO 2631	0.300	Cumple
04 Pb	H. Principe	3.439	0.001	ISO 2631	0.300	Cumple
Pa		0.718	0.001	ISO 2631	0.300	Cumple
06 Pb	J. Moscoso	7.707	0.000	ISO 2631	0.300	Cumple
Pa		0.718	0.000	ISO 2631	0.300	Cumple
08 Pb	Flia. Orquera	4.375	0.001	ISO 2631	0.300	Cumple
Pa		3.656	0.000	ISO 2631	0.300	Cumple

6.3. Discusión de resultados

La discusión técnica se fundamentó en los parámetros medidos en el muro frontal de fachada, elemento considerado como el más significativo por los resultados de respuesta obtenidos y el aspecto urbanístico de las edificaciones patrimoniales que son sensibles a las afectaciones por agrietamientos.

6.3.1. Discusión de la Tabla Comparativa de Aceleraciones (Tabla 9)

Los valores de aceleraciones tomados de **ISO 2631** y de **ISO 6897** en función de la frecuencia, corresponden a aceleraciones límite del umbral de percepción de una persona. Aceleraciones mayores a los valores indicados podrían ocasionar molestias a los usuarios. Estos valores máximos de aceleración, comparados con los obtenidos en la muestra, son muy superiores a las aceleraciones medidas demostrándose así que el tráfico vehicular no causa malestar alguno a los beneficiarios.

6.3.2. Discusión de la Tabla Comparativa de Velocidades (Tabla 10)

En consideración de la tipología de la construcción (antigua patrimonial) y al material (adobe) en las edificaciones de la muestra, se seleccionaron los valores de velocidades de DIN 4150 y de otras referencias, como la velocidad límite para frecuencia < 10 Hz, sobre la cual podrían producirse daños en los muros. Los valores de velocidad límite adoptados resultan ser muy superiores si son comparados con las velocidades medidas en la muestra; demostrándose de esta manera, que las vibraciones por tráfico vehicular no podrían ser causantes de tipo alguno de degradación a los sistemas murarios de las edificaciones patrimoniales.

6.3.3. Discusión del Cuadro Comparativo de Desplazamientos (Tabla 11)

El valor del desplazamiento de ISO 2631-77, corresponde a un desplazamiento límite de percepción humana; desplazamientos mayores ocasionarán molestias a los usuarios. El valor límite (ISO 2631-77) para el desplazamiento es superior al rango de los desplazamientos obtenidos en la muestra, demostrando que el tráfico vehicular no será causa de molestias a los usuarios.

7. Conclusiones

A continuación, se presentan las conclusiones de la investigación sobre las vibraciones por tráfico en las construcciones patrimoniales de adobe.

- 7.1. La selección de la muestra para el estudio, sobre la base de criterios del material adobe, del estado de conservación y de la tipología arquitectónica, permitió disponer de la información necesaria para lograr el objetivo.
- 7.2. El concepto de muro discretizado, integrado por segmentos de muros independientes entre sí, hizo posible el análisis dinámico de los muros en su estado actual de agrietamiento¹⁶ prescindiéndose así de la trama muraria y facilitando la comprensión de la respuesta dinámica de los muros de mampostería de tierra de las construcciones tradicionales patrimoniales, solicitadas por microvibraciones del tráfico vehicular.
- 7.3. Los parámetros dinámicos fueron validados por los resultados del análisis estadístico de la respuesta dinámica a las microvibraciones por el tráfico vehicular¹⁷ en función del estado actual de fisuración de los muros.
- 7.4. El Acápite 6.3, 'Discusión de resultados', permitió calificar el comportamiento estructural de respuesta de los muros patrimoniales discretizados de mampostería de tierra, como "muros no vulnerables a las vibraciones ambientales producidas por el tráfico vehicular".
- 7.5. Los resultados de la valoración del estado actual de las edificaciones de la muestra, fueron cualitativamente confrontados con los valores investigados de la respuesta dinámica a las microvibraciones por tráfico vehicular. Este estudio comparativo concluyó en los siguientes puntos:

Primero: El estado actual de fisuración muraria y los daños menores observados en las mamposterías, son atribuibles, principalmente, a causas sísmicas pasadas y al comportamiento reológico del material.

16 Los sismos son los causantes de los agrietamientos que discretizan los muros de mampostería de tierra, estructuralmente los agrietamientos en los muros no significa una desestabilización de la edificación,

17 Ver: Tablas 2 y 3, de resumen de resultados y Anexo 2 equipo utilizado.

Segundo: Además de los sismos, se atribuye como principales causas degradantes de las edificaciones de mampostería de adobe a los siguientes factores:

- Falta de mantenimiento e intervenciones inadecuadas de consolidación,
- Asentamientos diferenciales del suelo de fundación ocasionados por las malas prácticas constructivas en la realización de excavaciones y sobrecargas por cambios de uso.
- Readecuaciones inapropiadas de las mamposterías y uso de materiales modernos no compatibles con la construcción en tierra.

8. Recomendaciones generales

Para mejorar la preservación del patrimonio cultural, la seguridad de los usuarios y la movilidad vehicular, se recomienda aplicar las siguientes acciones:

- 8.1. Desarrollar incentivos para que los propietarios de los inmuebles patrimoniales implementen acciones adecuadas de preservación, mantenimiento y conservación del patrimonio construido; y, establecer mecanismos de control de las autoridades encargadas de la conservación patrimonial, para garantizar la bondad y aplicabilidad de los materiales y sistemas resistentes a ser utilizados en las intervenciones de remodelación y adecuación sísmica.
- 8.2. Precautelar la seguridad de los usuarios y transeúntes ante la amenaza del posible colapso de las edificaciones en mal estado por causa del abandono o falta de mantenimiento.

Bibliografía

Ojeda, A., *Evaluación de Efectos de Sitio para la Microzonificación Sísmica de Pereira*, Revista de la Red Sismológica Regional del Eje Cafetero Viejo Caldas y Tolima, p. 2-15, 1999, Colombia.

Meneses, J., *Microtrepidaciones: Fundamentos y Análisis*, CISMID, Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Ingeniería, 1998, Lima-Perú.

Yves Bard, P., *Microtremor Measurement: A Tool for Site Effect Estimation*, Second International Symposium on the Effects of Surface Geology on Seismic Motion – ESG98-, 1998, Japan.

Kazuyoshi, K. *Practical Estimates of Site Response State-Art Report*. 1995, Niza, Italia.

Lachet, Corinne and Yves Bard, Pierre, *Numerical and Theoretical Investigations on the Possibilities and Limitations of Nakamura's Technique*, 1994. "Francia.


Álvarez, S., González, M., Montalvo, J. C., Acosta, J. G., *Medición de Periodos Dominantes con Microtremores en la Ciudad de Tijuana, B.C.*, 1994, CICESE, México.

Mucciarelli, M., *Reliability and Applicability of Nakamura's Technique Using Microtremors: An Experimental Approach*, 1998, ISMES, Italia.

Sarria, A. *Ingeniería Sísmica*. Ediciones Unidas, Universidad de los Andes, 1990, Bogotá, Colombia.

Morán, M., *Criterios para Evaluar las Patologías en las Construcciones de Tierra en Zonas Sísmicas*. Memorias del Seminario Taller, Reforzamiento Estructural en las Edificaciones Patrimoniales. p. 83-101. FONSAL, 2004, Quito, Ecuador.

Tabla 1. Muestra del levantamiento del estado actual de la casa de la familia Orquera en la calle Juan Jaramillo

CALLE JUAN JARAMILLO CUENCA ECUADOR										EVALUACIÓN CUALITATIVA ESTRUCTURAL DEL ESTADO ACTUAL MARIO MORÁN P. INGENIERÍA CIA. LTDA.			CASA Flia.Orquera	No. 7-59/61	
FECHA: 28/5/2008															
1.- IDENTIFICACIÓN															
SECTOR: Sur															
OTROS : Muro de fachada															
CRUJIA : Sur															
NIVEL : Pisos 1 y 2															
2.- MATERIALES															
	ADOBE	LADRILLO	MIXTO	PIEDRA	BAHAREQUE	MADERA	FORJADO	MIXTO	BOVEDA	ARCO					
CIMENTOS				x											
MUROS PB	x				x										
MUROS PA	x				x										
ENTREPISO N						X									
CUBIERTA						X									
3. DEGRADACIÓN MURARIA															
G															
3.1-	IDENTIFICACIÓN DE DAÑOS										VALOR	MÁXIMO	CALIF.		
	Fisuración										GRAVE/12	MODERADO/6	LIGERO/3	12	12
	Desprendimientos de enlucidos										GRAVE/12	MODERADO/6	LIGERO/3	12	12
	Desplomes										GRAVE/6	MODERADO/3	LIGERO/2	6	6
														30	30
3.2-	DAÑOS POR HUMEDAD										GRAVE/10	MODERADO/5	LIGERO/2	10	2
	Por capilaridad										GRAVE/10	MODERADO/5	LIGERO/2	10	2
	Humedad										GRAVE/5	MODERADO/3	LIGERO/1	5	-
	Por malas instalaciones													25	4
3.3-	DAÑOS POR FALTA DE MANTENIMIENTO										GRAVE/5	MODERADO/2	LIGERO/1	5	5
	Desprendimiento de enlucidos										GRAVE/2	MODERADO/1	LIGERO/0	2	1
	Falta de reparaciones										GRAVE/3	MODERADO/2	LIGERO/1	3	1
	Intervenciones inadecuadas													10	7
4.- ESTADO DE PROTECCIÓN SÍSMICA															
4.1-	SISTEMAS ESTABILIZANTES PRIMARIOS										BUENO/0	REGULAR/3	MALO/6	6	3
	Estructura de cubierta										BUENO/0	REGULAR/3	MALO/6	6	3
	Estructura de entrepiso										BUENO/0	REGULAR/6	MALO/13	13	6
	Estructura muraria													25	12
4.2-	SISTEMAS ESTABILIZANTES SECUNDARIOS										BUENO/0	REGULAR/3	MALO/5	5	3
	Muros secundarios										BUENO/0	REGULAR/3	MALO/5	5	-
	Reforzamientos													10	3
TOTAL													100	56	

