

CONFORT ADEMÁS DE RESISTENCIA

MIGUEL RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, MARTHA SUAREZ Y GERARDO RODRÍGUEZ GUTIÉRREZ

La construcción de edificios cada vez más altos, con materiales ligeros y con diseños arquitectónicos más audaces, obliga a revisar constantemente las normas de diseño y construcción. Los criterios utilizados para evaluar el nivel de vibración permisible en edificaciones se basan en la capacidad de la estructura para aceptarlo sin que le genere daño y no afecte el uso que tendrá. Recientemente se está poniendo atención a la idea del confort que las personas usuarias de los inmuebles deberían experimentar, aun cuando este debiera ser un parámetro básico para su diseño. Es en este rubro donde se debe valorar si las vibraciones pequeñas, generadas cotidianamente por el tránsito vehicular o por el equipo que funciona dentro de las estructuras, afectan a las personas. El deterioro que estas vibraciones pequeñas poco atendidas puedan generar en las estructuras, no afecta su vida útil, pero sí pueden generar molestia y pérdida de confort. En Rivas (2010) se presenta una revisión y comparación de los criterios establecidos en las normas de distintos países para delimitar sus causas y efectos. Los parámetros que utilizan varían dependiendo de la norma. Entre los más comunes están la severidad y el nivel de vibración que se evalúan para la velocidad (definido en anchos de banda de un tercio de octava), y para la aceleración con el r.m.s. operante y el valor de dosis de vibración (VDV).

Los límites máximos permisibles para la percepción y el confort de las personas expuestas a vibraciones en la CDMX, están considerados en la Norma mexicana NADF-004-AMBT-2004 basada en los criterios establecidos por la Organización Internacional de Normalización (ISO). Las Normas Técnicas Complementarias (NTC) del Reglamento de construcciones para el Distrito Federal en su versión de 2023, incluyen valores límite de aceleración en consideración a la sensibilidad de las personas a la vibración, en sus apartados 13.7 (concreto) y en el 15.5 (acero).

Basados en encuestas elaboradas para conocer la respuesta humana ante las vibraciones ocasionadas por maquinaria, por el tránsito vehicular o de trenes, la ISO elaboró la norma 2631 con el propósito de estandarizar los métodos de medición de la vibración transmitida al cuerpo humano. La misma ISO refiere que “No hay suficiente información para mostrar una relación cuantitativa entre la exposición a la vibración y el riesgo a los efectos en la salud...” (ISO 2631-1-1997). Por esta razón, los niveles aceptables de vibración se expresan como

factores multiplicadores de las aceleraciones establecidas como referencia en las normas. En la CDMX no existen estudios estadísticos que indiquen si los criterios establecidos por ISO son adecuados para ser aplicados en la ciudad. Una manera de evaluarlos es registrando en las estructuras los niveles de vibración, escuchar lo que las personas afectadas refieren, y comparar los resultados obtenidos con lo predicho por la NADF-004-AMBT-2004.

Considerando la norma internacional ISO 2631-2-2003(E), relacionada con la determinación de los riesgos a la salud provocados por vibraciones mecánicas, la Procuraduría Ambiental del Ordenamiento Territorial (PAOT) refiere que se «requiere de estudios muy profundos de parte de autoridades e investigadores especializados». Esto resume la necesidad de realizar mediciones para tener conclusiones acordes con las circunstancias propias de la CDMX. Para ello se requiere:

- a) Conocer la respuesta de las personas a su manejo/reacción ante la exposición a vibraciones débiles cotidianas.
- b) Conocer por zona geotécnica, cuál es la frecuencia/magnitud de las vibraciones generadas en el sitio.
- c) Generar bases de datos que contribuyan a reforzar o modificar las NTC.

En los registros de las mediciones de ruido ambiental realizadas recientemente durante 24 h por seis días consecutivos en la Torre del Centro Cultural Universitario de Tlatelolco (CCUT), se identifica el incremento de vibración durante las horas de trabajo de las personas que lo ocupan. Las señales obtenidas simultáneamente revelan que las vibraciones detectadas en campo libre también, se presentan dentro del edificio, como se muestra en la figura 1, en donde se han añadido rectángulos para resaltar esta observación. También se aprecia que la señal se amplifica en los pisos superiores. Estos registros presentan cierta periodicidad aproximada de 120 s, que es el tiempo que tardan los semáforos en cambiar de luz y se asocia con el frenado y arranque de los vehículos que circulan por la Av. Ricardo Flores Magón (figura 2). De ello se concluye que la actividad antropogénica genera vibraciones que están presentes en los entrepisos y que es necesario cuantificar para conocer su afectación en las personas.

El valor de dosis de vibración (VDV) predice la posibilidad de que los ocupantes de un inmueble sientan incómodas o perturbadoras las vibraciones que experimentan. Este descriptor es sensible a los máximos y se utiliza como herramienta para comparar y evaluar los niveles de exposición y tomar decisiones sobre posibles medidas de control y prevención. En la figura 3 se indican los valores de VDV calculados para todos los componentes

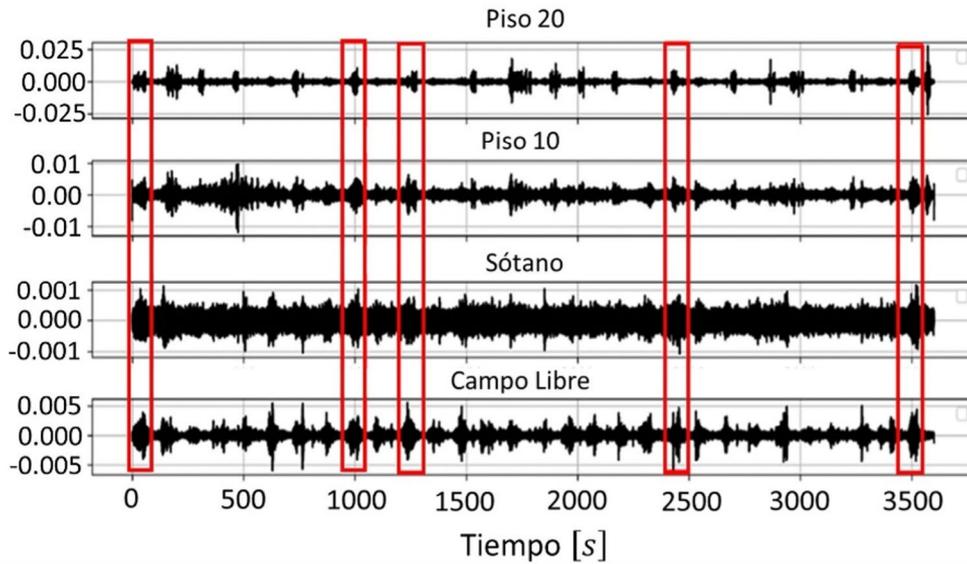


Figura 1. Aceleración registrada el 19 de mayo 3 am (UTC), componente E (Lázaro y García, 2024)

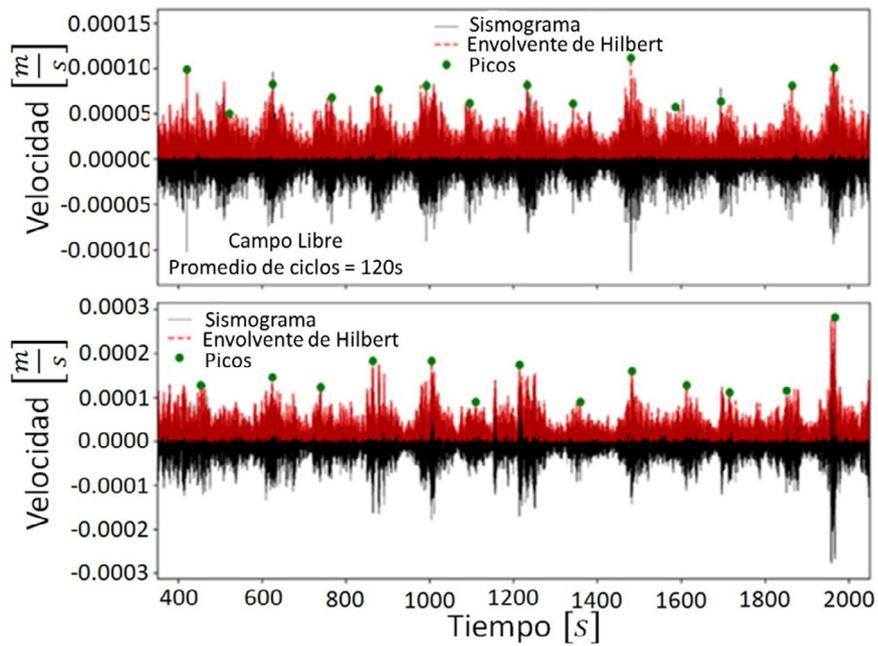


Figura 2. Periodicidad de las señales registradas (Lázaro y García, 2024)

(N, E y vertical) de los registros medidos en el piso 10 de la torre del CCUT durante los seis días que duró la medición, que incluyó un día domingo. Para este caso, los VDV no exceden el límite máximo permisible para el valor de dosis de vibración de $0.26 \text{ m/s}^{1.75}$, según la norma NADF-004-AMBT-2004.

Para contar con datos aceptables de los rangos de afectación a la vibración, se deben realizar estudios estadísticos que consideren una muestra razonable de las características de la fuente, tipo de estructura y trayectoria de las vibraciones, además de la percepción humana. Se contaba con los registros de la medición de ruido ambiental del edificio 17 del Instituto de Ingeniería (UNAM), que, si bien no está cerca de alguna vialidad muy transitada, sí alberga equipo mecánico en el laboratorio que se encuentra en la planta baja. Se analizaron los registros de catorce sensores ubicados en distintos puntos del edificio en tres campañas de medición, con duración de entre 15 y 30 min en horario diurno. Además, se aplicó una encuesta a las personas que ahí trabajan, basándose en la encuesta publicada en una revista especializada (Maclachlan *et. al.*, 2017). Debido a la corta duración de los registros, no se logró identificar el origen dominante de las vibraciones dentro del edificio. Considerando los valores límite consignados en el apartado 15.5 «Vibraciones

verticales de entrepiso» de la NTC 2023, la aceleración a_{rms} estimada como función de la frecuencia durante la experimentación en las tres pruebas no exceden los $0.005g$ que es el valor límite mencionado en las normas. Sin embargo, las encuestas realizadas a 44 personas revelaron que 87 % de los ocupantes indican verse afectados por el ruido generado en el edificio. Varios de ellos, sobre todo las personas que se encuentran en el tercer nivel, comentan que les es molesto escuchar el ruido que proviene de los cubículos vecinos, algunos incluso sienten las vibraciones de las personas que “pisan fuerte” o corren. La mayoría de las personas que se encuentran en el segundo nivel refieren que sí escuchan funcionando el equipo (que está en el nivel contiguo abajo). Varios de los encuestados manifiestan que minimizan la molestia al colocarse audífonos, pero algunos otros dicen que realmente les es muy molesto el trabajar en esas condiciones. En relación con las vibraciones, el 59 % se percata de ellas (4 % no las asocia al ruido) (ver figura 4). En la tabla 1 se indican por sexo y por ocupación los resultados obtenidos.

En cuanto a la intensidad de la molestia, en la figura 5 se reportan los resultados que indican que más del 40 % de la población sí se ve afectada y en la tabla 2 se desglosan los resultados para los distintos grupos.

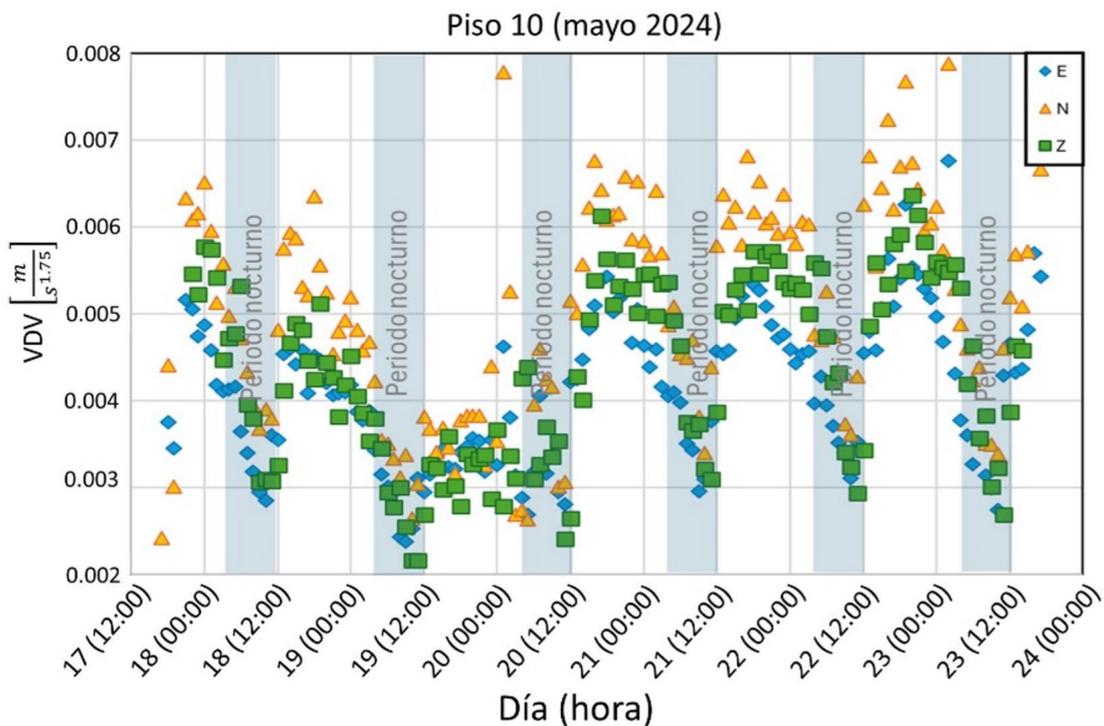


Figura 3. Valor de dosis calculado para el décimo piso (Lázaro y García, 2024)

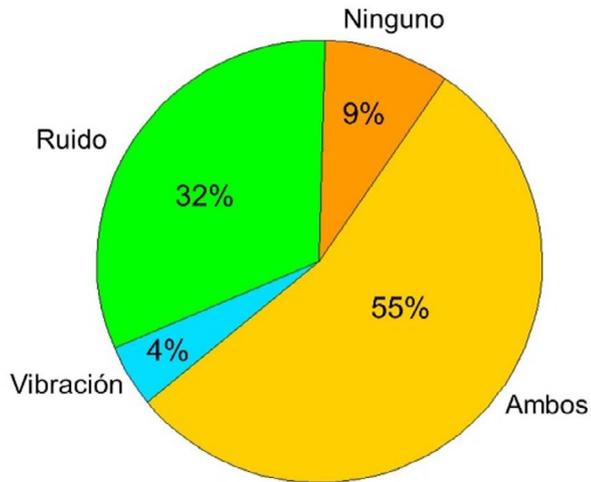


Figura 4. Porcentaje de las molestias que indican sentir las personas encuestadas que se encuentran en el Edif. 17

Tabla 1. Número de personas que perciben ruido o vibración en el Edif. 17

Parámetro	Hombres	Mujeres	Trabajadores	Estudiantes	Total
Ruido	9	5	1	13	14
Vibración	2	0	0	2	2
Ambos	19	5	10	14	24
Ninguno	3	1	0	4	4

Tabla 2. Grado de molestia manifestado por las personas del Edif. 17

Molestia	Hombres	Mujeres	Trabajadores	Estudiantes	Total
Nada	16	9	7	18	25
Algo	10	2	3	9	12
Mucho	4	3	1	6	7

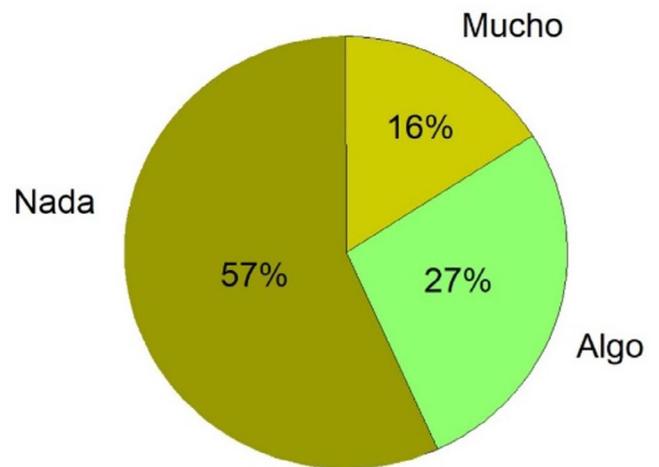


Figura 5. Porcentaje que indica el grado de molestia sentido por las personas encuestadas que se encuentran en el Edif. 17

Referencias

ISO 2631-1:1997: Mechanical vibration and shock -Evaluation of human exposure to whole-body vibration -Part 1: General requirements.

ISO 2631-2:1989: Evaluation of human exposure to whole-body vibration Part 2: Continuous and shock-induced vibrations in buildings (1 to 80 Hz).

Lázaro Bosques, B. B. y García Enríquez, M. M. (2024), "Evaluación de la exposición humana a la vibración", Tesis para obtener el título de Licenciatura, Facultad de Ingeniería, UNAM.

MacLachlan, L.; Persson Waye, K. y Pedersen Waye, E. "Exploring perception of vibrations from rail: An interview study". *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14, 1303; doi:10.3390/ijerph14111303. (www.mdpi.com/journal/ijerph)

NADF-004-AMBT-2004. Norma ambiental para el Distrito Federal. Condiciones de medición y los límites máximos permisibles para vibraciones mecánicas.

Norma Técnica Complementaria sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones (2003).

RIVAS Railway-Induced Vibration Abatement Solutions Collaborative Project (2010), "Review of existing standards, regulations and guidelines, as well as laboratory and field studies concerning human exposure to vibration", Deliverable D1.4, Submission date 12/01/2011., Work Package WP1: Assesment and monitoring procedures. Task T1.1: Assesment of human exposure. RIVAS SCPO-GA-2010-265754.