

OBSERVACIONES SOBRE EL PROYECTO DE NORMA DE VIBRACIONES PARA EL D.F.

Dr. Arturo Orozco Santillán y M.I. Antonio Pérez López
Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico
Laboratorio de Acústica y Vibraciones
Circuito Exterior s/n, Cd. Universitaria
Del. Coyoacán, México, D.F., CP 04510
Tel.: 5622 8602 ext. 1192, fax: 5622 8675
Correo electrónico: artor@aleph.cinstrum.unam.mx

Resumen: En este trabajo se señalan, a juicio de los autores, algunos problemas de fondo de tipo técnico que tiene el proyecto de norma de vibraciones mecánicas para el DF, PROY-NADF-AMBT-2004, versión final, del 27 de mayo de 2004, con la que se pretende sancionar la generación excesiva de vibraciones producida por fuentes fijas. En el proyecto de norma se establecen límites máximos permisibles de la aceleración de vibraciones mecánicas, que pretenden evitar molestia provocada directamente en el ser humano por dichas vibraciones, en el intervalo de frecuencia de 1 a 80 Hz, correspondiente al efecto en vibraciones de cuerpo entero. En este artículo se hacen observaciones sobre el enfoque equivocado del proyecto de norma, errores y omisiones técnicas graves en el proceso de medición considerado en el mismo, y la carencia de fundamentos en el establecimiento de límites máximos permisibles. Se discute también la necesidad de que en el proyecto de norma se considere el uso del inmueble, las tareas realizadas por los ocupantes, y la tolerancia esperada a perturbaciones; tomando en cuenta, por ejemplo, casas habitación, oficinas, fábricas, hospitales, escuelas y centros diurnos de cuidado a personas vulnerables. Se concluye que el proyecto de norma tiene un enfoque equivocado, un sustento científico poco sólido y, por lo tanto, es inviable. En consecuencia, consideramos que es conveniente que se descarte.

1. INTRODUCCIÓN

Debido a que la Procuraduría Ambiental y del Ordenamiento Territorial del Distrito Federal (PAOT-DF) ha recibido denuncias referentes a contaminación por ruido y vibraciones (Expediente: PAOT 2002/CJRD-08/SPA-07), el 30 de julio de 2002 emitió la Recomendación 02/2002, dirigida a la titular de la Secretaría del Medio Ambiente del Gobierno del Distrito Federal (SMA-GDF), Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, en la que establece que "...las autoridades competentes no han emitido a la fecha una Norma oficial Mexicana ni ambiental para el Distrito Federal en materia de vibraciones...", por lo que recomienda que "Conforme al acuerdo de creación del Comité de Normalización Ambiental del Distrito Federal, proponer a su Pleno la integración de un grupo de trabajo especializado en la realización de un proyecto de norma ambiental para el Distrito Federal, en materia de ruido y vibraciones". Se hace notar que de acuerdo a las estadísticas que presenta la PAOT-DF [1], el porcentaje de denuncias recibidas durante 2004, hasta el 23 de junio, debidas a contaminación por ruido y vibraciones alcanzó el 26.5%.

En consecuencia a esta recomendación, y al vacío que existe en la normatividad correspondiente a vibraciones, el Gobierno del Distrito Federal (GDF), a través de su Secretaría del Medio Ambiente y de su Comité de Normalización Ambiental, publicó en la Gaceta Oficial del DF, el 7 de enero de 2003, la convocatoria para la integración del grupo de trabajo encargado de la discusión y análisis de un proyecto de norma ambiental para el Distrito Federal en materia de vibraciones mecánicas, cuya última versión es PROY-NADF-004-AMBT-2004.

Si bien la urgencia del GDF por atacar el problema de contaminación por ruido y vibraciones es entendible, ya que existe una cantidad relativamente grande de denuncias, el proyecto de norma PROY-NADF-004-AMBT-2004, cuyo análisis y discusión se dio por concluido el 27 mayo de 2004 [2], no coadyuvará a afrontar la solución del problema producido por las vibraciones, debido a que contiene errores graves de fundamento, científicos y de aplicación.

Este trabajo tiene la finalidad de mostrar que el proyecto de norma PROY-NADF-004-AMBT-2004,

no está bien enfocado, no tiene sustento científico y pretende aplicarse de manera equivocada, por lo cual los autores consideran que debería de descartarse y elaborar uno nuevo sustentado en bases científicas adecuadas.

Se reconoce la conveniencia de propiciar la discusión de este tipo de temas, sobre una base adecuada y con argumentos sustentados y apropiados, con la finalidad de que la normatividad sobre vibraciones sea la más conveniente para atacar los problemas que aquejan particularmente al DF, ya que, a juicio de los autores, una norma con carencias podría causar más problemas que los que se pretenden resolver.

2. SEÑALAMIENTOS GENERALES SOBRE EL PROYECTO DE NORMA

Se presentan tres observaciones sobre aspectos substanciales de fondo del proyecto de norma PROY-NADF-004-AMBT-2004.

De acuerdo al proyecto de norma mencionado, su objeto es determinar si una fuente "emisora" excede o no el límite permitido de vibraciones mecánicas. Para ello se medirá la aceleración en uno o varios puntos, "en los sitios o inmuebles", donde: *i)* los habitantes señalen que perciben la mayor "cantidad" de vibraciones mecánicas, en caso de denuncia o queja; o bien *ii)* se detecte, sensorial o instrumentalmente, la mayor "emisión" de vibraciones mecánicas, cuando no existe denuncia o queja. Si la aceleración medida excede el valor límite establecido en el proyecto de norma, en consecuencia, el mismo proyecto hace responsable únicamente a la fuente "emisora".

2.1. El enfoque del proyecto de norma es incorrecto.

Los motivos son los siguientes:

- a) En el proyecto de norma se considera la idea equivocada de que se puede evaluar el grado de emisión de energía mecánica de una fuente vibrante, mediante una forma simplista, a través de la medición de las vibraciones que produce dicha fuente en uno o varios puntos a su alrededor.**

Esta consideración carece de bases científicas; pareciera que en el proyecto de norma se asume que la energía mecánica que genera la fuente vibrante se propaga en forma omnidireccional, en

condiciones de campo libre, que el medio es homogéneo y que las vibraciones presentes en el medio son producidas por esa única fuente. En ese caso especial, sí sería posible determinar la emisión de energía mecánica a través de la medición de vibraciones en un punto cercano. Sin embargo, el proyecto de norma menciona que se pueden "realizar mediciones de vibraciones mecánicas al ambiente" utilizando como punto de medición el "sitio o inmueble donde sensorial o instrumental (sic), se detecte la mayor emisión de vibraciones mecánicas", lo cual es erróneo.

Se debe tener presente que la propagación de ondas elásticas depende de las características del medio en el que se transmiten. Cuando el medio es el interior de la corteza terrestre, su composición es muy variada y compleja [3]. Las variables involucradas en problemas de este tipo son extremadamente numerosas y, con excepción de los temblores, sólo unas cuantas mediciones específicas, bien definidas, están disponibles para servir como guía en la estimación de los movimientos en el interior de la tierra que podrían ser usadas como pautas para el cálculo en casos particulares [4].

La complejidad del problema puede entenderse si se considera que existen 4 tipos de ondas elásticas que se propagan en las capas terrestres: de Rayleigh, de Love, de compresión y de esfuerzo cortante, cuyas velocidades de propagación son diferentes entre sí y dependen de las características del medio en el que se transmiten. La superposición de estas ondas y sus efectos de refracción, reflexión y dispersión suelen producir patrones vibrantes muy complejos. Adicionalmente, la aceleración es amplificada al pasar de un medio duro (como puede ser una capa rocosa) a un medio suave (como las capas de tierra de la superficie) [5]. Como un ejemplo de las variaciones que se observan en este tipo de fenómenos, se menciona que la velocidad de las ondas de compresión es de 1200-1900 m/s en arena saturada de agua y de 5500-6800 m/s en rocas basálticas [3].

Se hace énfasis en qué en el proyecto de norma ni siquiera se menciona en qué consiste ni cómo debe de llevarse a cabo el "reconocimiento sensorial o instrumental" para determinar los puntos de medición. Adicionalmente, se debió dar a conocer el fundamento científico en el cual se basa la suposición de que el punto donde se detecte la mayor "emisión" de vibraciones mecánicas, a través de un simple "reconocimiento sensorial o

instrumental”, se pueden caracterizar “las vibraciones mecánicas al ambiente” y, qué garantiza que con un simple “reconocimiento sensorial o instrumental” se localizará el punto donde la magnitud de las vibraciones es máxima.

En varias minutas, de las sesiones del grupo de trabajo, se hace referencia a que el proyecto de norma está basado en las normas ISO 2631, partes I y II [6, 7], y británica BS-6472 [8]. Sin embargo, debe de hacerse notar que estas normas sólo se refieren a la *evaluación* de la exposición humana a vibraciones de cuerpo entero, *en ninguna parte de estas normas se hace referencia a la fuente de las vibraciones*. El proyecto de norma va más allá del alcance de las normas ISO 2631, partes I y II [6, 7], y británica BS-6472 [8], pero no se da el fundamento científico para ello.

b) En forma incorrecta, el proyecto de norma, no toma en cuenta la necesidad de considerar el uso del inmueble, las tareas realizadas por los ocupantes, y la tolerancia esperada a perturbaciones, tal como se sugiere en las normas ISO 2631, partes I y II, y británica BS-6472. Estas mismas recomendaciones también son dadas por varios autores como, por ejemplo, Harris [4] y Griffin [9].

Las vibraciones mecánicas tienen un impacto negativo en la calidad de vida de las personas sólo cuando éstas están sometidas a ellas. Así, las vibraciones mecánicas en una zona deshabitada y sin la presencia de seres humanos no perjudican a ninguna persona (aunque podrían afectar a la fauna y la flora presentes). A diferencia de otros agentes de contaminación ambiental, como pueden ser las sustancias tóxicas, el efecto nocivo del ruido y las vibraciones mecánicas prácticamente desaparece inmediatamente después de que la fuente que los produce deja de funcionar. Asimismo, el grado de molestia que las vibraciones mecánicas produce en el ser humano, depende del tipo de actividad que se realice. Por ejemplo, considerando el efecto de molestia producido por las vibraciones mecánicas en las personas, las restricciones en una zona hospitalaria, a las magnitudes de vibraciones, deben de ser mayores que en las de una zona industrial. De igual manera, el grado de molestia para una misma vibración mecánica será diferente si se percibe durante la noche o durante el día. Esto no se toma en cuenta en el proyecto de norma.

c) Con el procedimiento de medición que se propone en el proyecto de norma, no existe

manera alguna de demostrar que una fuente “emisora” es la causante de la generación de vibraciones mecánicas; sin embargo, se da por asumida esa causa. Antes de responsabilizar a alguien, se debe demostrar esa responsabilidad.

Es de esperarse que en muchos de los casos existan varias fuentes que contribuyan en la generación de vibraciones mecánicas que se perciben en un determinado lugar. Una de estas fuentes, muy común en nuestra ciudad, la constituyen los vehículos pesados. Sin embargo, el proyecto de norma no toma en cuenta esta situación. ¿Se responsabilizará a la llamada fuente “emisora” por las contribuciones a las vibraciones que generen otras fuentes, como por ejemplo los vehículos pesados? Deberían de quedar muy claras, en el proyecto de norma, las respuestas a las siguientes interrogantes: ¿Cómo se discriminará el efecto de la llamada fuente “emisora” de las contribuciones de otras fuentes? ¿Bajo qué criterios se considerará que las contribuciones de la fuente “emisora” son importantes y que acreditan una sanción? Esto no se indica en el proyecto de norma, pero sí hace responsable únicamente a la fuente “emisora” cuando la magnitud de las vibraciones medidas en un punto cercano a su colindancia sobrepase un límite establecido.

En resumen, no existe ninguna base científica que permita identificar como causante de vibraciones mecánicas excesivas, en todos los casos, como pretende hacerse con el proyecto de norma, a una fuente de vibraciones mecánicas a partir de que en alguno o varios puntos aledaños se midan magnitudes de vibración mayores a un límite establecido.

d) En forma errónea se considera a la fuente “emisora” como el único causante de sobrepasar el límite permitido de aceleración en los puntos de medición.

El dueño de la fuente emisora debería preocuparse por proveer un aislamiento adecuado para reducir la contaminación provocada por ruido y vibraciones; sin embargo, no siempre es posible y viable aislar (por completo) el ruido y las vibraciones mecánicas. Por lo tanto, en una norma se deben de establecer los límites máximos permisibles de las vibraciones que son percibidas.

Sin embargo, se debe tener presente que dentro de la cadena de medición considerada en el proyecto

de norma, se encuentran las condiciones del sitio o inmueble donde se realiza la medición, de las cuales no tiene ninguna injerencia el responsable de la fuente “emisora”. Por ejemplo, si el inmueble está mal construido, en malas condiciones o edificado sobre un terreno inapropiado (sobre cuevas, restos de minas de arena, entre otros) es de esperarse que estos factores modifiquen la magnitud de las vibraciones mecánicas, pudiendo ser amplificada. ¿Se debe sancionar en este caso al responsable de la llamada fuente “emisora”?

Asimismo, la propagación de la energía mecánica que producen las vibraciones, depende de las características geológicas y propiedades físicas del terreno. Es muy probable que modificaciones posteriores que se hagan en el terreno cercano a una fuente vibrante, cambien la forma en que se propague la energía mecánica, algunas de ellas de manera significativa, como puede ser el caso de construcciones grandes. Sería entonces factible que, como resultado, se generen zonas donde aumente la densidad de energía mecánica y que, en consecuencia, se sobrepasen los límites de magnitud de vibraciones establecidos en el proyecto de norma. Nuevamente se hace la pregunta ¿Se debe sancionar en este caso al responsable de la llamada fuente “emisora”?

2.2. Existen omisiones técnicas graves y reiteradas en la parte 7 del proyecto de norma: “evaluación de la vibración”.

En la parte 7 del proyecto de norma, se establecen los parámetros que se deben de determinar: la aceleración raíz cuadrática media ponderada (a_w) en el intervalo de 1 Hz a 80 Hz para la “evaluación básica de la vibración” (sección 7.1) y el valor de dosis de vibración (VDV) “para la evaluación de vibraciones transitorias” (sección 7.2). El primer parámetro está dado por

$$a_w = \left[\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(t) dt \right]^{1/2}$$

donde $a_w(t)$ es la aceleración ponderada instantánea en metros por segundo al cuadrado y T es la duración de la medición. El VDV se “evalúa conforme a la siguiente ecuación”:

$$VDV = \left\{ \int_0^T [a_w(t)]^4 dt \right\}^{1/4}$$

En la sección 7.3 del proyecto de norma se establece que el tiempo no puede ser menor a 300 segundos. Debe hacerse énfasis en que eso es todo lo que menciona el proyecto de norma sobre la “evaluación de la vibración”.

Como se observa, se subestiman factores importantes en la determinación de la aceleración raíz cuadrática media ponderada y el valor de dosis de vibración; esto es:

- No se menciona cómo se hará en la práctica la ponderación de la aceleración instantánea medida, ni tampoco cómo se determinará, prácticamente, el valor de dosis de vibración (VDV). Esto puede dar origen a usar métodos o aproximaciones equivocadas.
- No se dice qué tipo de filtros se usarán para limitar el cálculo de la aceleración raíz cuadrática media (rms) ponderada en el intervalo de 1 a 80 Hz. Es decir, ¿de qué manera se eliminarán las frecuencias menores a 1 Hz y las mayores a 80 Hz?
- El VDV depende del tiempo de medición, pero éste puede ser cualquier valor mayor a 300 segundos.

Debe mencionarse que el proyecto de norma no establece como estimar el VDV correspondiente al periodo de “operación” de 8 horas (periodo para el cual establece el límite) a partir de la medición realizada durante un intervalo de tiempo que debe ser mayor a 300 segundos. En cambio, la norma británica BS-6472 [8] establece claramente que “donde sea posible, el VDV debe ser estimado a partir de una medición obtenida durante la exposición completa a la vibración”; asimismo, esta norma británica describe casos y métodos para estimar el VDV, dependiendo de las características particulares de la vibración, a partir de mediciones realizadas en intervalos de tiempo menores al intervalo de la exposición completa.

En resumen, el proyecto de norma deja de lado el aspecto práctico del cálculo de la aceleración rms ponderada y del valor de dosis de vibración. Únicamente se limita a dar las definiciones matemáticas de estos parámetros.

Mínimamente, se hubiera sometido el proyecto de norma a una evaluación práctica y seria (lo cual no se hizo), realizando tantas mediciones de campo, bajo condiciones reales, como fueran necesarias y

siguiendo, de forma crítica, el procedimiento de medición. De esa manera se hubiera notado que para poder calcular la aceleración rms ponderada y el valor de dosis de vibración se requiere utilizar equipo y métodos de medición que no están considerados ni descritos en el proyecto de norma. Por esta razón, no se disponen de datos, ni es posible la realización de algún experimento o estudio de caso, que hubiera servido para mostrar con datos, cómo la aplicación de la norma conduce a decisiones incorrectas. Simplemente, no se pueden determinar prácticamente los parámetros descritos en el proyecto de norma a menos que cada persona tome decisiones propias, las cuales seguramente serán diferentes y llevarán a resultados distintos.

2.3. No existen razones convincentes de que los límites máximos permisibles establecidos en el proyecto de norma sean adecuados.

De acuerdo a la minuta de la sesión del grupo de trabajo realizada el 6 de mayo de 2004, en su penúltimo párrafo de la parte III se dice que los límites de la aceleración raíz cuadrática media (rms) ponderada “están bien fundamentados en la norma ISO-2631” y que para la dosis de vibración a la cuarta potencia “se incorporen los límites establecidos en la norma BS 6472 1992... que corresponden a $0.26 \text{ m/s}^{1.75}$ ”. Esto es una interpretación muy ligera.

Las magnitudes aceptables de vibraciones para exposiciones de cuerpo entero en edificios *no son establecidas en la norma ISO 2631 [6, 7]*. Se menciona, en forma explícita, en las partes I y II de esta norma que, *la razón de no sugerir límites se debe a que las magnitudes aceptables no pueden ser especificadas rígidamente y dependen de circunstancias específicas*. Esta afirmación es también sostenida por la norma británica BS-6472 [8] así como por otros autores, por ejemplo, Harris [4] y Griffin [9].

La única referencia en la norma ISO 2631 sobre el valor de 0.015 m/s^2 de una aceleración ponderada, aparece en el apéndice C3 de la parte I [2], titulado “percepción”, donde se dice lo siguiente: “cincuenta por ciento de alertas, concuerdan con personas que apenas pueden detectar una vibración ponderada W_k con una magnitud pico de 0.015 m/s^2 . Entre individuos, existe una variación grande de su habilidad para percibir vibraciones mecánicas. Cuando el umbral de percepción media es aproximadamente de 0.015 m/s^2 , el intervalo entre

cuartiles de respuestas se podría extender desde alrededor de 0.01 m/s^2 a 0.02 m/s^2 pico”. Como se observa, en la norma ISO 2631 [2] no se habla de un valor límite, sino de un *umbral de percepción media* que puede ser de 0.015 m/s^2 de *magnitud pico*.

Asimismo, la norma BS-6472 [8] no indica o establece valores límites permitidos para el VDV. El valor de $0.26 \text{ m/s}^{1.75}$ se menciona en esa norma como un valor que implicaría un “posible comentario adverso” para un periodo de 8 horas *durante la noche*. Así que, este valor de $0.26 \text{ m/s}^{1.75}$, pareciera ser un límite relativamente poco restrictivo para un periodo nocturno de 8 horas, ya que es posible la existencia de comentarios adversos por molestias producidas por vibraciones mecánicas, si el valor medido del VDV es cercano a $0.26 \text{ m/s}^{1.75}$.

Se debe enfatizar que, más que copiar límites consignados en otras normas, determinados bajo condiciones diferentes, deben establecerse límites apropiados de acuerdo a las características propias de la Ciudad de México; utilizando parámetros que hagan posible la trazabilidad de los resultados con los de otros países.

Al establece un límite, usualmente hay una aceptación implícita de un riesgo permitido. El proceso puede involucrar un balance entre dos factores: 1) “costos” originados por un límite muy exigente y 2) probabilidad de molestia con un límite poco restrictivo. Por lo tanto, decidir sobre un límite requiere conocer el efecto adverso que podría ocurrir y, cómo la probabilidad y severidad de este efecto dependerá del valor del límite establecido [9].

3. DISCUSIÓN

Se considera conveniente propiciar una discusión amplia que lleve a la elaboración de normas basadas en fundamentos sustentados científicamente. Como puede verse a partir de lo señalado anteriormente en este artículo, el proyecto de norma sobre vibraciones mecánicas para el DF contiene errores múltiples y muy graves. Uno de los propósitos que se persigue con este artículo es hacer conciencia en la necesidad de corregir dichos errores; así, un primer paso es precisamente señalarlos. Varios de los señalamientos y críticas contienen proposiciones implícitas sobre como corregir esos errores. Realizar sugerencias explícitas sobre como mejorar el proyecto de norma actual requeriría tiempo y espacio que van más allá de lo disponible en el Simposio de Metrología.

Por lo tanto, se recomienda que se busque una estrategia integral para atacar el problema del efecto de vibraciones mecánicas en el ser humano, por lo que se sugiere, que inicie con los siguientes puntos:

- Elaboración de una base de datos a partir de los casos estudiados en los cuales se haya reportado un problema debido a perturbaciones en el ser humano producido, directamente, por vibraciones mecánicas.
- Diagnóstico del problema producido directamente por vibraciones mecánicas en el ser humano para el caso particular de las fuentes fijas de la Ciudad de México.
- Elaboración de un plan de acción integral para atacar los problemas producidos por vibraciones mecánicas.
- Que se tomen como referencia las normas ISO 2631-1 1997 e ISO 2631-2 2003 para la elaboración de un nuevo proyecto de norma. En este punto, se sugiere la integración de un grupo de trabajo compacto formado por especialistas en el tema.

4. CONCLUSIONES

Con base en lo expuesto anteriormente, se concluye que el proyecto de norma ambiental para el DF sobre vibraciones mecánicas, PROY-NADF-004-AMBT-2004, no está bien enfocado y pretende aplicarse de manera equivocada; es decir, se pretende responsabilizar a alguien (persona física o moral) de un problema, sin tener, por lo menos, los elementos científicos y técnicos de juicio necesarios. Asimismo, el proyecto de norma contiene omisiones técnicas graves, no se hizo una evaluación práctica del proyecto, ni hay razones de peso que sustenten los límites máximos de vibraciones permitidos. Por lo tanto, es necesario

desechar el proyecto de norma y elaborar uno nuevo sustentado en bases científicas adecuadas.

REFERENCIAS

- [1] <http://www.paot.org.mx/gestionPAOT/informe_mensual.php> (consultada el 23 de junio de 2004).
- [2] MINUTA, de la última sesión ordinaria del Grupo de Trabajo encargado del análisis y discusión del proyecto de norma ambiental para el Distrito Federal en materia de vibraciones, 27 de mayo de 2004, Ref. GT04-16-2004.
- [3] P. V. Sharma, Environmental and Engineering Geophysics, Cambridge University Press, USA 1997.
- [4] C. M. Harris (Editor), Shock Vibration Handbook, Third Edition, McGraw-Hill 1988.
- [5] R. K. Rowe, Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Handbook, Kluwer Academic Press, USA 2001.
- [6] ISO 2631-1 1997 "Evaluation of human exposure to whole body vibration –Part 1: General requirements".
- [7] ISO 2631-2 1989 "Evaluation of human exposure to whole body vibration- Part 2: Continuous and shock-induced vibration in buildings".
- [8] BS-6472 1992 "Evaluation of human exposure to vibration in buildings [1 Hz to 80 Hz]."
- [9] M. J. Griffin, Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1990.