

DISEÑO DE LA RED DE VIGILANCIA DE RUIDO PARA LOS MUNICIPIOS QUE CONFORMAN EL ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ*

Carlos Alberto Echeverri Londoño¹

Recibido: 09/09/2008

Aceptado: 07/05/2009

RESUMEN

El objetivo de este proyecto fue diseñar en forma preliminar la red de vigilancia de ruido ambiental para los municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá con base en los mapas acústicos suministrados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, los planes de ordenamiento territorial (POT) y estudios previos en cada uno de los municipios del Valle de Aburrá. Para tal fin, este estudio propone y desarrolla una metodología que busca evaluar, de forma apropiada, las zonas críticas que presentan altos niveles de ruido y que perjudican principalmente las zonas residenciales en la parte urbana de cada uno de los municipios objeto de estudio.

Palabras clave: red de vigilancia de ruido, niveles de presión sonora, ruido ambiental, sonómetro.

¹ Ingeniero Químico, Magíster en Ingeniería Ambiental. Docente-Investigador Grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales GEMA. Facultad de Ingeniería, Programa de Ingeniería Ambiental. Universidad de Medellín. e-mail: cecheverri@udem.edu.co

* En este trabajo se presentan los resultados del proyecto "Diseño de la red de vigilancia de ruido para los municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá", realizado por la Universidad de Medellín y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, con la colaboración de la Universidad de Antioquia, dentro del convenio 289 de 2006, celebrado entre el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, la Universidad de Medellín, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Pontificia Bolivariana.

DESIGN OF A NETWORK FOR NOISE MONITORING IN MUNICIPALITIES OF ABURRÁ VALLEY METROPOLITAN AREA

ABSTRACT

The objective of this project was to make a preliminary design of an environmental noise monitoring network for those municipalities within Aburrá Valley Metropolitan Area, based on acoustic maps provided by Aburrá Valley Metropolitan Area, territorial ordering plans, and prior studies executed in each municipality of Aburrá Valley. For such purpose, this study proposes and develops a methodology for appropriately evaluating critical zones which have high levels of noise of negative impact on residential zones from urban areas in each one of such municipalities subjected to study.

Key words: Noise monitoring network; sound levels; environmental noise; sound level meter.

I. RED DE VIGILANCIA DE RUIDO AMBIENTAL

Los objetivos de la red de vigilancia de ruido ambiental determinarán qué parámetros deberán medirse, dónde, cuándo y con qué frecuencia.

La finalidad última de una red de vigilancia de ruido ambiental no es simplemente recopilar datos sino proporcionar la información necesaria para que los científicos, los encargados de formular políticas, las autoridades ambientales y los planificadores tomen decisiones fundamentadas sobre la gestión y mejoramiento de la calidad acústica.

El monitoreo cumple un papel importante en este proceso, dado que brinda la base científica necesaria y segura para el desarrollo de políticas y estrategias, el establecimiento de objetivos y la

medición del cumplimiento de las metas y medidas coercitivas (ver figura 1).

No obstante, debe reconocerse que el monitoreo tiene limitaciones. En muchos casos, la medición no basta o puede resultar poco práctica para definir la exposición al ruido de la población de una ciudad o región. Ningún programa de monitoreo, aunque esté bien fundamentado y diseñado, puede aspirar a cuantificar de manera integral los niveles de presión sonora en el espacio y en el tiempo. Como mucho, el monitoreo proporciona una figura incompleta, aunque útil, de la calidad acústica actual. Por consiguiente, generalmente se debe aplicar junto con otras técnicas objetivas de evaluación, que incluyen la elaboración de modelos de simulación, la interpolación y los mapas acústicos.

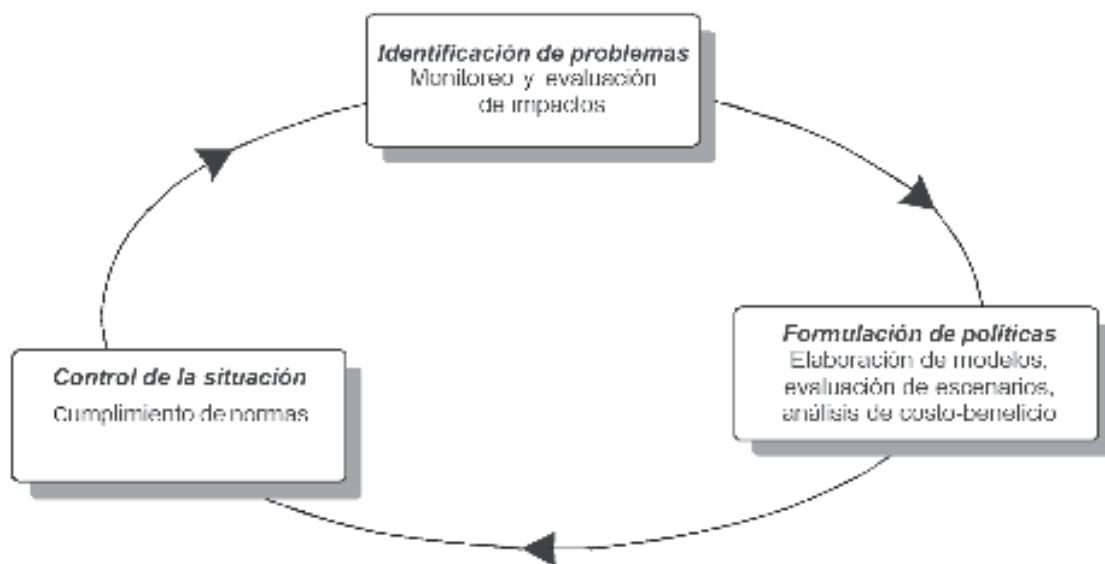


Figura 1. El papel del monitoreo en la gestión de la calidad acústica (OMS, 2004).

Tampoco se puede confiar únicamente en la elaboración de modelos de simulación. Si bien éstos pueden ser una herramienta poderosa para interpolar, predecir y optimizar las estrategias de control, su calidad depende de la disponibilidad de datos confiables sobre la emisión de ruido.

1.1. Objetivos del monitoreo del ruido ambiental

El primer paso para diseñar o implementar una red de vigilancia de ruido ambiental es definir sus objetivos generales. Si se establecen objetivos de medición difusos, demasiado restrictivos o ambi-

ciosos, los programas serán ineficaces en función de los costos, y sus datos serán poco útiles. Estas circunstancias impedirán el uso óptimo del personal y de los recursos disponibles. Para que se puedan definir objetivos apropiados en relación con la calidad de los datos, éstos deben ser claros, realistas y alcanzables (OMS, 2004).

Los principales requisitos que deben cumplir las mediciones (calidad de los datos), si se desea alcanzar los objetivos generales de monitoreo, son los siguientes:

- Exactitud y precisión de la medición.
- Trazabilidad según normas metrológicas.
- Cobertura temporal (captación de datos).
- Representatividad y cobertura espacial.
- Consistencia (entre sitio y sitio, y en el tiempo).
- Comparabilidad y armonización internacional.

Es importante definir claramente los objetivos generales del monitoreo y de la calidad de los datos a fin de lograr un diseño óptimo de la red, elegir adecuadamente los parámetros y procedimiento de medición e identificar los requisitos para el manejo y reporte de datos.

Es común que los objetivos del monitoreo del ruido ambiental cambien con el tiempo y las circunstancias. Estos son algunos de los objetivos del monitoreo del ruido ambiental:

- Evaluar la calidad acústica ambiental de cada municipio o de la zona de estudio.
- Determinar las necesidades del control en materia de contaminación por ruido.
- Adoptar planes de acción en materia de contaminación por ruido y en general de las medidas correctivas, preventivas y de seguimiento adecuadas.
- Verificar la efectividad de las medidas de control.
- Determinar tendencias de la calidad acústica.
- Verificar el cumplimiento de la legislación vigente (resolución 627 de 2006 del Minis-

terio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial).

- Informar al público sobre el estado de la calidad acústica.
- Activar las medidas de contingencia cuando se requiera.
- Suministrar datos para construir o complementar los mapas de ruido.
- Evaluar la influencia de la contaminación por ruido sobre la salud y el ambiente.
- Proveer información en tiempo real para un sistema de alerta temprana.
- Inferir el estado auditivo de la población.
- Levantar información para desarrollar, calibrar o aplicar modelos predictivos.

Obviamente, los mismos objetivos no se aplican a todos los sitios de monitoreo en una misma ciudad.

1.2. Aspectos a tener en cuenta en el diseño de la red

No existen reglas universales para el diseño de una red de vigilancia de ruido ambiental, dado que, en última instancia, cualquier decisión dependerá de los objetivos generales del monitoreo y de la disponibilidad de recursos.

Si bien los sistemas de monitoreo pueden tener un objetivo específico, generalmente sirven para una amplia variedad de funciones. Ningún diseño puede aspirar a abordar completamente todos los objetivos posibles del monitoreo. Sin embargo, para cumplir cada uno de estos requisitos, los diseños muchas veces tienen características comunes y, por lo tanto, podrían usar datos comunes (para evitar la duplicación de esfuerzos) y cruzarlos para verificar la confiabilidad de los resultados y las conclusiones. El objetivo general del diseño es garantizar la máxima información con el mínimo esfuerzo.

1.2.1. Disponibilidad de recursos y limitaciones. La disponibilidad de recursos es un aspecto clave, que se debe abordar desde el inicio del proceso de diseño de una red (dinero, personal calificado y tiempo). Por lo general, en la práctica éste es el principal determinante en el diseño de una red, que ejercerá una fuerte influencia en la selección del número de sitios de medición, de los parámetros que se van a medir y de los equipos de medición.

Un programa de vigilancia del ruido ambiental probablemente incurra en un amplio intervalo de costos y compromisos de recursos. Los costos más comunes en un programa de monitoreo de ruido ambiental son:

- Compra de sonómetros, estaciones meteorológicas e infraestructura del sitio.
- Servicios relacionados con los equipos, mantenimiento y reparación.
- Costos de personal, operación y manejo.
- Auditorías para el aseguramiento y control de la calidad, intercalibraciones, capacitación y manejo de datos.
- Costos de operación; alquiler del lugar, electricidad, bienes de consumo, repuestos, teléfono, transporte, etc.

Las redes asistidas (operación manual) son más caras; en contrapartida son más flexibles y versátiles. En particular, permiten ser fácilmente ajustadas durante su operación, e intercalar otras mediciones como verificación o diagnóstico de situaciones emergentes. Las redes no asistidas (fijas) requieren una selección cuidadosa del sitio de medición, dado que permanecen fijas por largos períodos de tiempo y, en consecuencia, quedan expuestas al vandalismo. La medida habitual que se aconseja para minimizar riesgos es ubicarlas a una altura de 4 m sobre el nivel del suelo.

1.2.2. Número y selección de los sitios de medición

Los objetivos del monitoreo y los recursos disponibles, incluidos los requerimientos de los

instrumentos que se van a usar, son aspectos importantes en la selección del sitio y la frecuencia del monitoreo. Otros aspectos importantes son la necesidad de seguridad, el acceso físico fácil y con servicios (energía y teléfono).

Para el diseño de una red de vigilancia de ruido ambiental destinada a evaluar la exposición de la población y el cumplimiento de la normas de ruido ambiental, es necesario abordar una serie de aspectos básicos como:

- ¿Dónde está la población?
- ¿Cuáles son los niveles de ruido a los que la población está expuesta? ¿Por cuánto tiempo?
- ¿En qué áreas y microambientes es importante la exposición?

Las autoridades ambientales establecerán las áreas donde deben efectuar las mediciones de ruido que muestren el estado actual de la incidencia del ruido en el medio ambiente. Además de los usos del suelo y de las actividades desarrolladas, es necesario tener muy presentes las características generales de cada área, como por ejemplo, densidades poblacionales, densidades de tráfico, densidades de comercio, densidades o aglomeraciones industriales, densidades de edificaciones, horas del día y/o de la noche de mayores y menores actividades, en forma similar para los diferentes días de la semana, las diferentes semanas del mes, los diferentes meses del año y las respectivas temporadas en las cuales se efectúen ciertas actividades que sólo ocurren en esas temporadas.

Cuando se cuenta con información previa (mediciones y mapas acústicos), capitalizar esa información ahorra mucho tiempo y dinero. Cuando se han establecido planes de ordenamiento territorial o criterios de mejora de calidad ambiental, el problema es más fácil de resolver.

Una vez efectuada la selección, con sus respectivas justificaciones, de las áreas donde se deben desarrollar las mediciones, es necesario determinar en qué sitios se hacen las mismas. El sitio debe ser

seguro contra hurto y vandalismo, pero, a la vez, bien expuesto a las fuentes que se desea medir, cumpliendo con lo especificado en la resolución 627 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial o las normas internacionales en cuanto a distancias y ubicación respecto de fachadas, y que, además, presente características óptimas para efectuar las mediciones y brinde seguridad para quienes desarrollan la labor de campo.

Como criterio mínimo para la selección de los sitios de medición en una ciudad se tiene el cubrimiento de las siguientes zonas:

- Una zona representativa de la calidad acústica a que está sometida la mayor parte de la población expuesta.
- Una zona con densidad de población significativa expuesta a niveles sonoros adecuados y deseablemente dentro de los niveles permisibles, y cuya calidad acústica puede tomarse como objetivo de mejora para zonas razonablemente próximas.
- Los puntos críticos, identificados previamente por análisis de usos del suelo, patrones de circulación, distribución de zonas industriales y de esparcimiento, zonas a proteger acústicamente hoy contaminadas por ruido, etc. Cuando se cuenta con información previa de mapas acústicos, esta identificación es inmediata.

Una vez seleccionado el sitio, la evaluación de éste no termina. Las condiciones locales y regionales pueden cambiar después de un período e invalidar la recolección de datos, debido a modificaciones en el uso del suelo, en las fuentes de emisión de ruido cercanas, por la construcción de edificios o crecimiento de árboles. Esto es especialmente importante en ciudades de rápido crecimiento, donde los cambios en el uso del suelo pueden alterar completamente la representatividad de un sitio. En general, se espera que una red de monitoreo recolecte datos en, por lo menos, cuatro zonas diferentes de cada municipio:

zonas de tranquilidad, zonas residenciales, zonas comerciales y zonas industriales. Por ello, las evaluaciones periódicas de la representatividad del sitio son importantes.

Asimismo, la frecuencia de las mediciones se debe revisar periódicamente para garantizar que cumpla con los objetivos del monitoreo.

En la práctica, el número y distribución de las estaciones de monitoreo de ruido ambiental que toda red requiere o los equipos necesarios en un estudio también dependen del área de cobertura, de la variabilidad espacial de los niveles de presión sonora que se van a medir y de la finalidad de uso de los datos.

El número de sitios dependerá de:

- El uso y los objetivos de los datos;
- El área de cobertura;
- La variabilidad espacial de los niveles de presión sonora;
- La disponibilidad de recursos, y
- Los instrumentos utilizados.

El método que se presenta a continuación para determinar el número de estaciones de monitoreo solamente sirve de orientación, y en todo caso, el número de estaciones dependerá de la disponibilidad de recursos y los objetivos que se definan. Se trata de un método analítico propuesto por Carlos Echeverri Londoño, profesor de la Universidad de Medellín (Medellín, Colombia), basado en el área de estudio, la población y los niveles de ruido registrados. El número mínimo de estaciones de monitoreo está dado por la siguiente ecuación:

$$N = 2 + 0.02 (Leq_m - Leq_s) \log(A) e^{0.8308P} \quad (1)$$

En la cual:

N = Número total de estaciones.

Leq_m = Valor de la máxima isófona (intervalos de 10), $dB(A)$.

Leq_s = Nivel permisible de ruido ambiental, $dB(A)$.

A = Área de estudio, km².

P = Población, en millones de habitantes.

1.2.3. Estrategias y sistemas de monitoreo

El monitoreo implica evaluar el comportamiento de los niveles de presión sonora, tanto en el espacio como en el tiempo. Por lo tanto, un buen diseño de red debería buscar la optimización de la cobertura espacial y temporal dentro de los límites que imponen los recursos disponibles. Lograr un buen desempeño en la cobertura temporal no es un problema para los métodos que generalmente se usan en el monitoreo del ruido. No obstante, una vez que se han identificado los parámetros a medir, las tecnologías de medición elegidas deben tener una resolución temporal que sea compatible con los tiempos especificados en las normas de ruido ambiental.

Los equipos automáticos de hoy en día pueden dejarse en campo para registrar los niveles de ruido ambiental y enviar los informes al operador cuando éste esté cómodamente en su oficina. Ésta es la forma más económica y adecuada de evaluar situaciones de ruido, y es prácticamente imprescindible, si se requieren mediciones simultáneas o de larga duración (González, 2007).

Sin embargo, en algunos casos es vital que el operador esté presente en el lugar para:

- Cambiar o mejorar la configuración de la medida.
- Asegurar mediciones representativas.
- Identificar y marcar fuentes de ruido específicas.
- Identificar y marcar ruido residual.
- Prevenir interferencias con el equipo o las mediciones.
- Advertir a los trabajadores que estén utilizando equipos ruidosos.
- Mediar en conflictos de temas ambientales.

Las mediciones asistidas se hacen a menudo bajo condiciones difíciles. El tiempo es escaso, el acceso al lugar es difícil, la red eléctrica no está disponible o es intermitente, suceden interrupciones o hechos inesperados, y el operador no tiene una segunda oportunidad para tomar las mediciones. Luego, el operador necesita un equipo que cumpla con los siguientes aspectos:

- Sea fácil de transportar, instalar y operar.
- Tenga marcadores para identificar sucesos y fuentes de ruido.
- Mida todos los parámetros simultáneamente.
- Fije en el tiempo todos los datos registrados.

Para mediciones no asistidas (ver figura 2), la preparación del equipo y su instalación debe hacerse con gran cuidado y previsión, dado que el equipo deberá funcionar enteramente por su cuenta. Esto requiere:

- Un amplio rango dinámico.
- Registro de datos (por ejemplo, cada segundo o minuto).
- Disparador por sucesos de ruido para centrarse en su análisis.
- Medición simultánea de todos los parámetros.
- Registro de sonido para la identificación de fuentes de ruido.
- Registro de datos meteorológicos.
- Dotación cronológica de todos los datos registrados.
- Gran capacidad de almacenamiento de datos.
- Comprobación automática de la calibración.
- Acceso remoto a los datos y la configuración.
- Alimentación de energía de reserva.
- Micrófono e instrumentación resistente a la intemperie.
- Protección contra la manipulación y los animales.



Figura 2. Equipo para la medición de ruido no asistida.

Fuente: elaboración propia.

A menudo la solución más eficaz es una combinación de mediciones asistidas y no asistidas, usando mediciones asistidas para estudios piloto y comprobaciones en el momento, y mediciones no asistidas para monitoreo de ruido permanente o de larga duración. Para hacer mediciones no asistidas, el micrófono necesita protección contra el viento, la lluvia y los pájaros. También tiene que ser fácilmente accesible para su calibración e inspección.

Una terminal de monitoreo de ruido consiste básicamente en un micrófono resistente a la intemperie, un dispositivo de almacenamiento y análisis de datos y un sistema de transmisión de información, tal como una línea telefónica.

Las normas internacionales para los sonómetros están aceptadas en todos los países del mundo. Son importantes porque todas se refieren a normas de medida de los sonómetros para definir la instrumentación requerida. En la mayoría de países, se requieren equipos clase 1 para mediciones de ruido ambiental (González, 2007).

1.2.4. Posicionamiento del instrumento de medición

La medición de los niveles equivalentes continuos de presión sonora se debe llevar a cabo en las ubicaciones exteriores que sean apropiadas para la descripción sonora del ambiente sometido a estudio.

Según la NTC 3520, la altura del micrófono se debe seleccionar según la altura actual o esperada del receptor. En áreas bastante urbanizadas, la altura recomendada de medida debe ser de 3 a 11 m. Al seleccionar la altura superior de medida, se reduce la influencia de los efectos del terreno y las barreras acústicas bajas, y se mejora la reproducibilidad, pero el nivel medido generalmente es mayor que el medido cerca del terreno (González, 2007). Un análisis de la experiencia y la normativa internacional en lo que respecta al posicionamiento del instrumento de medición permite obtener los datos que se detallan a continuación.

En lo que respecta a la altura del micrófono, se han observado dos tendencias principales: ubicarlo a 1.2 m ó a 4 m sobre el nivel del suelo. Como ejemplos de la primera postura, se pueden citar las mediciones realizadas según la resolución 8321 de 1983 del Ministerio de Salud y las Normas Técnicas Colombiana 3520 y 3522, mientras que como muestra de la segunda podemos mencionar las mediciones realizadas a la luz de la resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y las mismas Normas Técnicas Colombianas 3520 y 3522.

La Norma Técnica Colombiana 3520 indica que la altura del micrófono se debe seleccionar según la altura actual o esperada del receptor. En áreas bastante urbanizadas la altura de medida recomendada debe ser de 3 a 11 m.

La Norma Técnica Colombiana 3522 indica que la selección de las posiciones reales de medición depende del propósito de las mediciones especificadas en la norma pertinente. Sin embargo,

para minimizar la influencia de la reflexión del sonido, las mediciones se deben realizar, cada vez que sea posible por lo menos a 3.5 m de cualquier estructura reflectante, diferente al nivel del terreno. Cuando no se especifique de otro modo, la altura recomendada de medición es de 1.2 a 1.5 m por encima de la tierra. Se pueden especificar otras mediciones en normas pertinentes.

La legislación actual (resolución 627) fija la altura a la que se deben efectuar las mediciones en 4 m, haciendo simular los entornos acústicos a dicha altura y poniendo en tela de juicio las mediciones asistidas de los niveles de ruido efectuadas a 1.2 m. La altura de 4 m, sin embargo, está asociada más a la minimización de los riesgos por vandalismo para mediciones de ruido no asistidas que por otra cosa (González, 2007).

Mediciones realizadas en Barcelona (España) en diferentes tipos de vías con condiciones de tráfico normales mostraron poca diferencia entre los valores de *Leq* medidos a 1.5 y 4 m (Soler *et al*, 2005). Desde el punto de vista estadístico, las mediciones tuvieron una diferencia promedio en los niveles *Leq* a 1.5 y 4 m de 0.2 dB(A), con un valor máximo de 1.2 dB(A), un valor mínimo \pm 1.5 dB(A) y una desviación estándar de 0.7 dB(A). En general, se puede concluir que las diferencias encontradas en los niveles *Leq* son no significativas, aunque hay casos puntuales que presentan diferencias hasta de 1.5 dB(A).

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que la resolución 627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial establece que para medir el ruido ambiental, cada medición debe constar de cinco (5) mediciones parciales distribuidas en tiempos iguales, cada una de las cuales debe tener una posición orientada del micrófono, así: norte, sur, este, oeste y vertical hacia arriba.

Lo anterior nuevamente obliga a emplear como estrategia de muestreo las mediciones asistidas y a

descalificar las bondades de los equipos automáticos de hoy en día que pueden dejarse en campo para registrar los niveles de ruido ambiental; esta es la forma más económica y adecuada de evaluar situaciones de ruido, y es prácticamente imprescindible si se requieren mediciones simultáneas o de larga duración. Una de estas bondades son los micrófonos omnidireccionales, que tienen un diagrama polar de 360° (la circunferencia completa) y una respuesta de sensibilidad constante, lo que significa que captan todos los sonidos independientemente de la dirección desde donde lleguen. En este caso el micrófono responde sólo a variaciones de presión.

1.2.5. Tipo de fuentes que interesa considerar

Si bien, lo más frecuente para tomar acciones en tiempo real es monitorear ruido de tránsito, depende de que esto esté considerado en el objetivo de la red. Puede haber zonas o eventos que ameriten especial atención para su seguimiento, donde la fuente principal no necesariamente sea el tránsito terrestre. Si la fuente principal a considerar es el tránsito, es bueno contar con una estación automática de aforo vehicular en el mismo sitio.

Cuando se busca proteger la salud de la población, interesa considerar todas las fuentes que puedan tener incidencia en la calidad acústica del entorno, sean fijas o móviles.

1.2.6. Parámetros de medición

En las ciudades colombianas las actividades económicas, ventas, compras, capacitación, producción, servicios han venido extendiendo sus horarios cada vez más hacia las horas de la noche, lo cual ha hecho que los servicios de transporte público se presten hasta horarios cada vez más tardíos; en forma similar sucede con el transporte particular. A esto hay que añadir la incidencia presentada con las restricciones vehiculares denominadas “pico y placa” que se extienden a diferentes ciudades del territorio colombiano y que obliga a muchos usuarios del transporte particular a salir en las mañanas

más temprano de sus viviendas y a retornar en las noches más tarde.

Es así como los períodos de vigilia se han ido extendiendo y, por lo tanto, los de las actividades; esto desemboca en que los períodos donde se genera más ruido también se han ido ampliando. Esto es una de las consecuencias de la industrialización y aglomeración en las ciudades.

Si los datos de ruido han de utilizarse para comparar con las normas de ruido ambiental, los parámetros de medición y, por lo tanto, el período de monitoreo deben estar relacionados con el horario aplicable de la norma. Según el artículo 17 y el capítulo III del anexo III de la resolución 627 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, en cada período diurno y nocturno se deben efectuar mediciones, y con estos resultados establecen los respectivos Leq,d y Leq,n , para el día de medición. Leq,d y Leq,n simbolizan los niveles equivalentes día y noche, respectivamente, y consisten simplemente en el nivel equivalente [$Leq(A)$] medido durante el horario diurno (7:01 - 21:00) y nocturno (21:01 - 7:00).

También es conveniente determinar el nivel equivalente día-noche. Este indicador se denomina Leq,dn , y pretende dar una idea del nivel de ruido a lo largo de las 24 horas del día, teniendo en consideración el hecho de que durante la noche la población se vuelve más sensible al ruido y, si bien habitualmente los niveles sonoros disminuyen en cierta medida durante ese período, su importancia relativa aumenta. Se trata del $Leq(A)$ para un período de 24 horas, con una penalización de 10 dB para los niveles equivalentes medidos durante la noche. Las horas que comprenden el período nocturno varían de acuerdo con las costumbres y culturas de cada pueblo, y por eso es necesario estudiar información acerca del comportamiento promedio de la población en cada caso. Para calcular el Leq,dn , se obtiene un nivel equivalente para el período diurno (Leq,d), y un nivel equivalente

para el nocturno (Leq,n). A éste último se le suma 10 dB, y luego se promedia con el $Leq(A)$ del día, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$Leq,dn = 10 \log \left(\frac{d}{24} \times 10^{\frac{Leq,d}{10}} + \left(1 - \frac{d}{24} \right) \times 10^{\frac{Leq,n+10}{10}} \right) \quad (2)$$

En la cual:

d = Número de horas diurnas (para Colombia son 14 horas).

1.2.7. De los datos a la información

El propósito del monitoreo no se limita a la recopilación de datos sino que se orienta a proporcionar información útil para la planificación, los profesionales de salud, los encargados de formular políticas y los usuarios finales. Tomados en sí mismos, los datos primarios son de utilidad limitada. En primer lugar, es necesario seleccionarlos (a través de la validación) y verificarlos para elaborar una base de datos sólida y confiable. De hecho, en los sistemas efectivos de información para el manejo de la calidad acústica, las mediciones validadas se archivarán con las correspondientes bases de datos, predicciones de modelos y otros datos básicos pertinentes para la toma de decisiones.

El siguiente paso en el manejo de datos es el análisis e interpretación, diseñado para suministrar información útil en un formato adecuado para los usuarios finales. No obstante, el usuario final será quien en última instancia determine el nivel y método apropiados de tratamiento de datos. Un nivel mínimo de manejo de datos podría ser la producción de resúmenes diarios, mensuales y anuales, que incluya análisis estadísticos y gráficos sencillos para mostrar las distribuciones de tiempo y frecuencia de los datos de monitoreo. Se debe considerar el uso de sistemas de información geográfica, principalmente para combinar los datos de calidad acústica con aquellos de fuentes epidemiológicas y otros datos sociales, económicos o demográficos tratados geográficamente.

La información derivada de los datos medidos se debe socializar oportunamente con los usuarios finales. Los sistemas de información pública, que con frecuencia aprovechan medios audiovisuales innovadores, desempeñan un papel cada vez más importante en muchos países para concientizar, alertar sobre episodios de contaminación por ruido y aconsejar a los grupos susceptibles de la población.

1.2.8. Frecuencia de monitoreo

Conviene advertir que con la vigilancia permanente, el análisis de las tendencias a largo plazo de los datos es muy importante para permitir la planificación del programa y las regulaciones de control de la contaminación por ruido. Así, pues, es indispensable que los puntos de vigilancia sean los mismos durante largo tiempo.

En cuanto a la frecuencia de monitoreo, hay dos factores que desempeñan un papel predominante:

- La variabilidad inherente del ruido ambiental, y
- La precisión requerida de los datos sobre la calidad acústica, que se relaciona con el objetivo de la vigilancia.

Si hay que calcular con los datos un promedio diario, es indispensable que todas las partes del día estén igualmente representadas. Se puede suponer, como norma, que el programa de vigilancia está debidamente equilibrado si cada período de medición (diurno y nocturno) contiene por lo menos el 40% del total de observaciones efectuadas dentro del día. Si los datos de ruido han de utilizarse para comparar con las normas de ruido ambiental, el período de monitoreo debe estar relacionado con el horario aplicable de la norma.

Con los puntos determinados, los sitios de medición localizados y el número de horas diarias a medir, es necesario que las autoridades ambientales determinen los horarios en los cuales se efectúan las mediciones en cada punto. Se recomienda no

hacer mediciones de más de una hora continua en cada punto, a menos que se haya determinado más de 7 horas diurnas o 5 nocturnas por día o noche, respectivamente.

El número mínimo de días a la semana en los cuales se efectúen las mediciones es de dos (2), uno de ellos tiene que ser un domingo, y el número mínimo de semanas por mes a medir es una (1); sin embargo, las consideraciones efectuadas para determinar las áreas donde se deben hacer las mediciones dan la base fundamental sobre la cual las autoridades ambientales determinen estos dos parámetros.

El intervalo de largo plazo que esta resolución ha determinado es de un año, por lo tanto, las autoridades ambientales deben definir, para cada punto, el número de meses y los meses en los cuales, durante el año, se deben tomar las mediciones. Esta definición obedece a los diferentes tipos de actividades, ciclos, períodos de operación o funcionamiento, estados de máxima y mínima actividad, temporadas, entre otros, que se den dentro del respectivo año.

2. METODOLOGÍA

El diseño de la red de vigilancia de ruido ambiental se desarrolló teniendo en cuenta las siguientes actividades:

- Revisión de los mapas acústicos y planes de ordenamiento territorial de cada uno de los municipios del Área Metropolitana del Valle de Aburrá.
- Caracterización de la zona de estudio.
- Descripción detallada de las principales fuentes generadoras de ruido y, en especial, de aquellas que tengan una participación directa en los niveles de ruido en las zonas de estudio.
- Análisis de los datos y generación de gráficos, destacando los resultados más importantes y su valoración cuantitativa y cualitativa.

- Selección y revisión de las zonas más conflictivas, las zonas de ruido más intenso y posibilidades para mejorar la calidad acústica en esta zona.
- Diseño preliminar de la red de vigilancia de ruido.
- Selección de puntos más representativos para la ubicación de los equipos de medición que permitirán hacer un seguimiento en tiempo real de los niveles de ruido y su evolución en el tiempo.

2.1. Revisión de información

El diseño se realizó con base en información primaria y secundaria. La información secundaria, consistente en estudios y mediciones sobre niveles de ruido existentes en los diferentes municipios, sirvió para identificar las áreas más contaminadas acústicamente, donde la exposición de la población a los niveles de ruido puede ser significativa. La información más relevante la suministraron los mapas de ruido elaborados por el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, a través del Grupo de Investigación en Higiene y Gestión Ambiental, para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá dentro del contrato 680 de 2005; los planes de ordenamiento territorial (POT) de cada municipio; y la información obtenida en campo (caracterización de las fuentes de ruido existentes en el área de estudio y el monitoreo de fuentes sonoras representativas no evaluadas en estudios anteriores).

La revisión de los mapas acústicos y planes de ordenamiento territorial de los municipios objeto de estudio en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá permitió identificar los sitios denominados “críticos” en las diferentes zonas contempladas en los POT, así como identificar aquellas fuentes que hacen que dichas zonas presenten altos niveles de contaminación acústica, y los lugares donde la población se ve afectada.

2.2. Área geográfica del estudio

El área geográfica de estudio la conforman los municipios que hacen parte del área metropolitana del Valle de Aburrá, excepto el municipio de Envigado. El Valle de Aburrá se puede dividir en tres regiones, así:

- Zona Norte: comprendida por los municipios de Barbosa y Girardota.
- Zona Central: conformada por los municipios de Medellín, Bello, Copacabana, Envigado, Itagüí, La Estrella y Sabaneta.
- Zona Sur: municipio de Caldas.

El valle de Aburrá se encuentra ubicado en la cordillera central en el departamento de Antioquia. Posee una extensión de 1152 km² que hacen parte de la cuenca del río Medellín, principal arteria fluvial que cruza la región. La conformación del valle de Aburrá es el resultado de la unidad geográfica, determinada por la cuenca del río Aburrá que lo recorre de sur a norte, por una serie de afluentes que caen a lo largo de su recorrido. El valle tiene una longitud aproximada de 60 kilómetros y una amplitud variable. Está enmarcado por una topografía irregular y pendiente, que oscila entre 1300 y 2800 metros sobre el nivel del mar. Las cordilleras que lo encierran dan lugar a la formación de diversos microclimas, saltos de agua, bosques, sitios de gran valor paisajístico y ecológico.

2.3. Caracterización de la zona de estudio

Con la información anterior, se programaron las visitas a los diferentes municipios. En las visitas, se inspeccionaron las zonas de medición según los niveles de ruido que arrojaron los mapas acústicos, se identificaron las fuentes sonoras en las zonas críticas, se hizo un registro fotográfico y se corroboró que los niveles de ruido fueran producto de una medición directa y no de la estimación hecha por Kriging (método geoestadístico de interpolación) en los mapas acústicos.

Se realizó la descripción detallada de las principales fuentes generadoras de ruido y en especial de aquellas que tenían una participación directa en los niveles de ruido en las zonas de estudio. También se aprovechó para identificar otras fuentes y zonas no cubiertas en la elaboración de los mapas de ruido del municipio.

2.4. Mediciones de la calidad acústica

Una vez identificadas las fuentes de ruido, se procedió a caracterizarlas y a monitorear grupos de fuentes sonoras representativas no evaluadas en estudios anteriores. Se midieron los niveles de ruido en los puntos y fuentes más representativas, para finalmente, con base en los resultados, seleccionar los posibles puntos de ubicación de la estación de de la red de vigilancia de ruido.

Las mediciones de ruido en los municipios del Área Metropolitana se realizaron con base en los mapas de ruido de cada uno de los municipios y los usos del suelo incluidos en los respectivos planes de ordenamiento territorial (POT). Con esta información, se identificaron las posibles zonas críticas en materia de contaminación acústica.

Para determinar el nivel de presión sonora emitido al ambiente debido a las actividades desarrolladas en los municipios evaluados, se utilizó el procedimiento de medición reglamentado en la resolución 0627 de 2006 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Esta resolución presenta, en el capítulo III, las disposiciones generales acerca del ruido ambiental, y en el capítulo II, las disposiciones generales acerca de la emisión de ruido, así como los niveles máximos permisibles para las diferentes zonas receptoras durante el período diurno y nocturno.

Las mediciones de las fuentes de emisión se realizaron con un sonómetro marca CEL modelo 490 previamente calibrado y ubicado en un trí-

pode a una altura de 1.2 m sobre el piso, y a una distancia de 1.5 metros desde la fachada donde encuentran las fuentes de ruido. Las mediciones se realizaron durante un período de 15 minutos para determinar el Leq y debido a que no fue posible determinar el ruido residual Leq , con las fuentes sonoras apagadas, se determinó el L_{90} para el mismo período de medición, tal y como se expresa en el anexo C, capítulo I de la resolución 0627/06 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Adicionalmente, se evaluó el nivel de ruido ambiental en los puntos en los cuales la mayor emisión de ruido se da por las vías principales. El micrófono del sonómetro, en este caso, se ubicó a una altura de 4.0 m sobre el piso y en un punto equidistante de las fachadas a ambos lados de la vía. Se realizaron mediciones durante 15 minutos distribuidos en cinco mediciones parciales de tiempos iguales en las direcciones norte, sur, este, oeste y vertical hacia arriba, tal y como se expresa en el anexo C, capítulo II de la resolución arriba mencionada.

La evaluación de los niveles de ruido se efectuó mediante la medición del nivel sonoro continuo equivalente con ponderación A (Leq), expresado en decibeles A [dBA] y, adicionalmente, se tomaron lecturas de los niveles máximo y mínimo.

3. DISEÑO DE LA RED DE VIGILANCIA DE RUIDO AMBIENTAL

3.1. Criterios de diseño

El Área Metropolitana Valle de Aburrá, sin contar el municipio de Envigado, presentaba para el año 2005 una población total de 3'111.882 habitantes, distribuidas de la siguiente forma:

Tabla 1. Distribución de la población en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (2005).

Municipio	Habitantes		Área total (km ²)	
	Total	Cabecera	Total	Urbana
Barbosa	42,547	18,721	206	2.2
Bello	373,013	359,404	149	19.8
Caldas	68,157	52,632	150	2.0
Copacabana	61,421	53,033	70	5.0
Girardota	42,830	25,201	78	5.2
Itagüí	202,617	202,617	17	11.6
La Estrella	52,763	28,538	35	3.6
Medellín	2'223,660	2'187,356	382	110.9
Sabaneta	44,874	35,528	15	3.6
Total	3'111,882	2'963,030	1,102	163.9

Fuente: <http://www.dane.gov.co/files/censo2005/regiones/antioquia/>

3.2. Cálculos

La tabla 2 presenta los niveles de presión sonora máximos y mínimos obtenidos de los mapas de ruido de los diferentes municipios, así como el número mínimo de estaciones de vigilancia para cada uno de los municipios.

Tabla 2. Niveles de presión sonora máximos y mínimos, y número mínimo de estaciones para los diferentes municipios.

Municipio	Leq_m	Leq_s	Número de estaciones
Barbosa	90	65	2
Bello	90	65	3
Caldas	100	65	2
Copacabana	80	65	2
Girardota	80	65	2
Itagüí	80	65	2
La Estrella	90	65	2
Medellín	90	65	8
Sabaneta	80	65	2

Fuente: estimaciones propias

Para estimar el número mínimo de estaciones, el área de estudio corresponde al de la zona urbana de cada municipio.

3.2. Ubicación de las estaciones

Las estaciones de la red de vigilancia de ruido ambiental serán las no asistidas, debido a los altos costos de operación y funcionamiento de una red asistida.

El criterio principal para la ubicación de las estaciones consiste en definir que la red tiene como objetivo, aportar la vigilancia de los niveles de exposición de la población. Desde esta perspectiva, la ubicación de las estaciones de monitoreo debe hacerse, entonces, en los lugares más representativos de la población efectivamente expuesta, en contraposición de los lugares con mayores niveles sonoros (González, 2007).

Los criterios mínimos para la selección de los sitios de medición fueron los estipulados en el numeral 1.2.2. Un criterio adicional, aunque secundario frente a los anteriores, es evitar la instalación de las estaciones de monitoreo en cruces de calles, con el fin de emplear con mayor facilidad la información obtenida frente a los efectos de la gestión del área de influencia.

Una consideración importante, sobre todo en el caso de estaciones no asistidas, es la altura de instalación del micrófono. De acuerdo con la NTC 3520, la altura del micrófono se debe seleccionar según la altura actual o esperada del receptor, pero por tratarse de estaciones no asistidas, el riesgo de vandalismo es bastante alto y la seguridad de las mismas se ve comprometida. Por lo tanto, en áreas bastante urbanizadas la altura recomendada de medida es de 3 a 11 m, que concuerda con la altura establecida en la resolución 627 de 2006; a pesar de que esta última está dirigida más a campañas de medición para la obtención de mapas acústicos, que a redes de vigilancia.

Intentando satisfacer al máximo los anteriores criterios, se seleccionan los sitios en los que parece adecuada y factible la instalación de las estaciones de medición. En cada uno de los sitios que se mencionan a continuación, los equipos de medición

se encuentran localizados en áreas en las cuales la población se ve afectada.

Se sugiere, de ser posible, ubicar los equipos en postes diferentes a los destinados para energía eléctrica, telefonía o alumbrado público, pues lo ideal es que estos estén en estructuras independientes, parecidas a las de las cámaras de vigilancia, en las que tengan la seguridad necesaria y permitan el acceso del personal técnico. La tabla 3 presenta la ubicación de las estaciones de la red de vigilancia de ruido ambiental para los diferentes municipios del valle de Aburrá.

3.3. Equipos de medición

Para mediciones de ruido ambiental no asistidas, los equipos automáticos de hoy en día permiten registrar los niveles de ruido ambiental

sin mayores inconvenientes, dado que los equipos funcionan enteramente por su cuenta.

Como las estaciones de monitoreo se utilizan durante largos períodos de tiempo, éstas son susceptibles ante los efectos de la humedad, la temperatura, el viento, la atmósfera corrosiva y los animales. El micrófono es particularmente vulnerable, dado que es la parte más expuesta del sistema. Para prevenir daños, se recomienda una unidad de micrófono de intemperie hecha de materiales resistentes a la corrosión y con una protección interna contra la humedad. También representa una ventaja que los sistemas de monitoreo de ruido puedan realizar automáticamente verificaciones acústicas, así como comprobaciones del sistema, por ejemplo, una calibración por inyección de carga (CIC) para comprobar que está funcionando adecuadamente.

Tabla 3. Ubicación de las estaciones de la red de vigilancia de ruido ambiental.

Punto	Municipio	Coordenadas		Dirección
		X	Y	
1	Barbosa	861178.14	1203769.98	Calle 13 con carrera 17
2	Barbosa	861626.72	1203632.28	Calle 17 con carrera 10
3	La Estrella	826545.54	1173007.62	Calle 80 sur con carrera 62
4	La Estrella	827349.05	1173223.01	Calle 77 con carrera 55
5	Caldas	827352.00	1165847.99	Carrera 51 con calle 126A sur
6	Caldas	827022.99	1165505.50	Calle 129A sur, al frente de la casa 129A sur - 03.
7	Bello	837831.01	1193104.50	Calle 33 frente a la casa No 31-50
8	Bello	836639.06	1192093.48	Carrera 46 cerca de la estación del Metro de Bello
9	Bello	835873.19	1192600.91	Calle 52 con carrera 52 diagonal a la casa No 52 - 12
10	Girardota	848476.57	1197338.32	Calle 6 con carrera 18, al lado de la casa No 18-04
11	Girardota	848121.30	1197507.13	Calle 18 frente a la casa No 22-36
12	Copacabana	841077.03	1194001.64	Calle 56 frente a la casa No 56-83
13	Copacabana	841235.64	1193690.50	Calle 50A entre las casa No 57-37 y 57-35
14	Sabaneta	830829.83	1172820.02	Carrera 43A con calle 54 sur
15	Sabaneta	830829.83	1172820.02	Carrera 43A con la calle 42E
16	Itagüí	830584.15	1174234.12	Calle 50A con carrera 47A, frente a Corli
17	Itagüí	829032.39	1173963.22	Carrera 52 con calle 34B al lado de la casa No 34B - 03
18	Medellín	832926.51	1180071.94	Calle 18 con la carrera 65GG
19	Medellín	833093.19	1178698.85	Carrera 54 con calle 2 frente a la casa No 2 - 47
20	Medellín	831442.18	1181494.98	Carrera 79A con calle 32B al frente de la casa 32B-27
21	Medellín	832239.40	1182517.62	Carrera 74 con circular 3 frente a la casa No Cir 3 - 17
22	Medellín	829987.58	1183997.85	Carrera 98A con calle 47A frente a la casa No 47A - 61
23	Medellín	835744.93	1184417.13	Calle 65 con carrera 50
24	Medellín	836312.88	1182324.88	Carrera 35 con calle 49 frente a la casa No 48A - 30
25	Medellín	832668.79	1186160.79	Diagonal 81B con calle 76 frente a la casa No 76 - 73

Fuente: el autor

Una terminal de monitoreo de ruido consiste básicamente en un micrófono resistente a la intemperie, un dispositivo de almacenamiento y análisis de datos y un sistema de transmisión de información tal como una línea telefónica. A continuación se presentan las características de una terminal de ruido, basada en los sonómetros CEL-360, CEL-490 y CEL-573, respectivamente, fabricados por la firma Casella-Cel.

1) Kit de monitoreo de ruido simple (basado en el CEL-360)

CEL-6760	Maletín para kit ambiental (incluye cable de alimentación para batería recargable)
CEL-360	Sonómetro (incluye software y cable para la transmisión de datos)
CEL-110/2	Calibrador acústico para sonómetros clase 2 (incluye acopladores)
CEL-4672	Pantalla contra el viento
CEL-16038	Paquete de baterías recargables (> 6 días de funcionamiento)
CEL-16029	Unidad para recargar las baterías
C6646	Cable de recarga para el CEL-16038

Precio total del kit: US\$ 4,890 (Válido para el 1 de agosto de 2007).

2) Kit de monitoreo de ruido GSM básico (basado en el CEL-490)

CEL-6723	Maletín de intemperie para el kit
CEL-490.A1	Sonómetro de precisión clase 1
CEL-110/1	Calibrador acústico para sonómetros clase 1
CEL-4627	Trípode para el instrumento y maletín de transporte
CEL-6737	Sistema de protección contra el viento y la lluvia para el micrófono
C6717/05	Cable de extensión de intemperie para el micrófono (5m)
CEL-16030	Paquete de baterías recargables (> 8 días de funcionamiento)
CEL-16029	Unidad para recargar las baterías
C6645	Cable de recarga para el CEL-16030
CEL-6815	Modem GSM y cable ensamble para los kit series 450/490 y maletín CEL-6723
C6799	Cable de alimentación de energía externa para la CEL-16029
C6755/2	Cable de alimentación de energía externa de batería de carro a maletín CEL-6723

Precio total del kit: US\$ 10,500 (Válido para el 1 de agosto de 2007).



Figura 3. Kit de monitoreo de ruido simple.

Fuente: elaboración propia.

3) Kit de monitoreo de ruido realzado (basado en el CEL-573)

CEL-6627	Maletín de intemperie para el kit
CEL-593.C1	Sonómetro en tiempo real clase 1 con analizador de bandas de 1/3 de octavas
CEL-110/1	Calibrador acústico para sonómetros clase 1
CEL-4627	Trípode para el instrumento y maletín de transporte
CEL-594	Sistema de protección contra el viento y la lluvia para el micrófono
C6610/05	Cable de extensión de intemperie para el micrófono (5m)
CEL-16030	Paquete de baterías recargables (> 5 días de funcionamiento)
CEL-16029	Unidad para recargar las baterías
C6645	Cable de recarga para el CEL-16030
C6755/2	Cable de alimentación de energía externa de batería de carro a maletín CEL-6723

Precio total del kit: US\$ 14,850 (Válido para el 1 de agosto de 2007).



Figura 4. Kit de monitoreo de ruido GSM básico.

Fuente: elaboración propia.



Figura 5. Kit de monitoreo de ruido realzado.

Fuente: elaboración propia.

4. RECOMENDACIONES

- El diseño de la red no es permanente en el tiempo y deberá reevaluarse según las variaciones de los planes de ordenamiento territorial de los municipios, el aumento de la población y el crecimiento de las zonas urbanas. Con el

transcurrir del tiempo y la evolución de los conglomerados, las ciudades son cada vez más extensas y pobladas.

- El número de puntos de medición podrá variar en la medida en que existan nuevas áreas de interés, disponibilidad de recursos e instrumentos de medición.
- La ubicación de los puntos señalados en el presente informe está sujeta a cambios en las vías (ampliación, modificación en flujos, etc.) y la construcción de infraestructura nueva en la ciudad, que puedan generar algún incumplimiento en los requerimientos para la medición del ruido ambiental, entre los que está la distancia que debe conservarse entre el equipo de medición y las fachadas, barreras o muros existentes. Por ejemplo, la resolución 627 establece que bajo ninguna circunstancia se pueden efectuar mediciones bajo puentes o estructuras similares.
- Se debe implementar un programa que garantice el aseguramiento y control de la calidad de los datos con un determinado nivel de confianza, que permita el cumplimiento de los objetivos trazados por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá dentro del programa de monitoreo.
- La ubicación de las estaciones de monitoreo debe hacerse siempre en los lugares más representativos donde la población esté efectivamente expuesta, en contraposición de los lugares con mayores niveles sonoros.
- Los equipos o estaciones de monitoreo deberán ubicarse en postes diferentes a los destinados para energía eléctrica, telefonía o alumbrado público, con el propósito de independizar la red de vigilancia de ruido. Lo ideal es que estos estén en estructuras independientes, como las de las cámaras de vigilancia, en las que tengan la seguridad necesaria y permitan el acceso del personal técnico (ver figura 6).

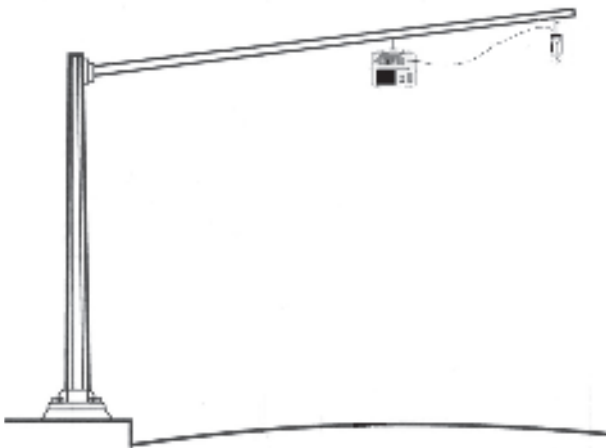


Figura 6. Estructura para colocar el equipo de medición.

5. AGRADECIMIENTOS

El autor agradece al Área Metropolitana del Valle de Aburrá, a la Universidad de Medellín y el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid por la financiación de este proyecto, y a los ingenieros Mauricio Andrés Correa Ochoa, William Giraldo Aristizabal, Miryam Gómez Marín y Julio Saldarriaga Molina por su colaboración en la ejecución del mismo.

6. REFERENCIAS

- GONZÁLEZ, Elizabeth. 2007. Diseño de redes de medición de ruido urbano. Trilogía del ruido. Medellín, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid, 41 p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas. 1993. Norma Técnica Colombiana NTC 3520. Bogotá, 14 p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas, 1993. Norma Técnica Colombiana NTC 3522. Bogotá, 13 p.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. Resolución 627 del 7 de abril de 2006. Bogotá, 30 p.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 2004. Guías para la calidad del aire. Lima: 213 p.
- SOLER ROCASALBAS *et al*, 2007. Comparativa entre medidas de ruido urbano a 1,5 y 4m. Ingeniería i Arquitectura La Salle, Barcelona, España. En: <http://www.sea-acustica.es/4328hr.html> (fecha de consulta: 6/11/2007).
- Universidad de Medellín, Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y Universidad de Antioquia. 2007. Diseño de la red de vigilancia de ruido para los municipios que conforman el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 350 p.