

## MODELAMIENTO Y ELABORACIÓN DE MAPAS DE RUIDO PILOTOS PARA EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO

PACS: 43.50.Rq

Garzón Christian<sup>1</sup>, Prado María Luisa<sup>2</sup>,  
1 Universidad de las Américas – Ecuador  
Facultad de Ingenierías y Ciencias Agropecuarias  
Av. De los Granados y Colimes esq., Quito – Ecuador Tel. +593 23981000 ext. 121  
E-mail: [cgarzon@udla.edu.ec](mailto:cgarzon@udla.edu.ec)  
2 Universidad Central del Ecuador  
Facultad de Arquitectura y Urbanismo  
Ciudadela Universitaria Av. América SN Tel. +593 999785603  
E-mail: [mlp\\_audio@yahoo.com](mailto:mlp_audio@yahoo.com)

### ABSTRACT

Noise pollution is a problem that affects large urban centers and requires mitigation programs that benefit the local population. The urban growth of the capital city of Ecuador, Quito, warrants a program for noise prevention and reduction. Here we report the construction of pilot noise maps for the city of Quito, which will aid in evaluating the soundscape of the city and permit us to propose a new methodology for development of noise maps in areas currently lacking clear protocols for such studies.

### RESUMEN

La contaminación acústica es un problema que afecta los grandes centros urbanos y que requiere de programas de mitigación para el bien de la población residente. El crecimiento de la parte urbana de la capital económica de Ecuador, Quito, obliga a tomar medidas sobre prevención y remediación de contaminantes acústicos. Aquí reportamos la construcción de mapas piloto de ruidos en Quito que permitirán evaluar la situación sonora de la ciudad y proponemos una nueva metodología que pueda ser aplicable a entornos carentes de normativa clara sobre la elaboración de mapas estratégicos de ruido.

### INTRODUCCIÓN

En ciudades, la densidad de personas y actividades genera niveles importantes de ruido que tienen impacto en la vida y salud de los individuos. Las urbes modernas suelen monitorear los niveles de ruido proveniente de varias actividades y tomar medidas para reducir su impacto en la vida de los residentes [1]. Como toda ciudad grande, la capital de Ecuador, Quito, tiene niveles notables de ruido urbano; sin embargo, no existen estudios comprensivos sobre la naturaleza del problema ni programas de mitigación de la “contaminación sonora.”

Quito es una ciudad de 2.165.662 habitantes [2] ubicada a 2800 metros sobre el nivel del mar en la cordillera occidental de los Andes. Por encontrarse en un valle, la ciudad se extiende de manera longitudinal y consta de tres zonas principales: norte (residencial y comercial), centro (residencial y turístico) y sur (residencial e industrial) (Figura 1).

Aunque en la actualidad no existen estudios sobre los principales fuentes de ruido en Quito, hasta un 80% del ruido urbano en ciudades previamente estudiados ha sido atribuido al uso de vehículos automotores [3]. Los automotores, con sus mecanismos, motores y roce de los neumáticos con el pavimento, generan niveles importantes de ruido que se convierten en uno de los mayores problemas que afectan a la calidad de vida de los seres humanos [4]. El nivel de este ruido en una zona es determinado por varios factores incluyendo las características de las vías, el flujo de vehículos, la velocidad de circulación, y las características de las edificaciones. Estudios actuales catalogan la rodadura como la fuente de ruido más importante en el automóvil cuando se circula entre velocidades de 50 a 120 Km/h [5]. El ruido de rodadura se produce por el contacto rueda-pavimento durante el movimiento del automóvil. Por tanto, en el proceso de generación intervienen tanto parámetros pertenecientes a la rueda como al pavimento. Conocimiento de estos parámetros en la zona de interés es esencial para modelar los diferentes parámetros geométricos, propiedades de materiales, entre otras que influyen en el problema.

Este estudio fue diseñado para levantar la información básica necesaria para generar mapas preliminares del ruido vehicular en Quito. Como el pavimento de las vías de la ciudad se ha realizado de manera diversa y no ha tenido un ningún cuidado específico ni una normativa de construcción, se necesita determinar de manera exacta la calidad y/o la resistencia de los pavimentos colocados en las vías y carreteras de la ciudad. De igual manera, existe la necesidad de determinar el valor de la Intensidad Media Diaria (IMD) de flujo de vehículos, misma que se entiende como el número total de vehículos que pasan por una sección de carretera durante un año, dividido por 365 días [6]. En el caso de las estaciones semi-permanentes, la acumulación y recolección de datos es una necesidad imperiosa, ya que dicha información es indispensable para el análisis y modelamiento.

Aquí reportamos los resultados de estos estudios previos y la construcción de mapas preliminares de ruido vehicular en tres zonas representativas de la ciudad de Quito. Planteamos un protocolo para la descripción definitiva del paisaje acústico urbano que sirva para implementar políticas de mitigación de contaminación sonora en esta ciudad capital y otras con características parecidas.

## **METODOLOGÍA**

### **Definición de zonas de estudio**

Debido a la difícil orografía de la ciudad de Quito y sus características longitudinales, se decidió analizar tres zonas piloto específicas: norte, centro y sur, con un límite de terreno finito no mayor a cincuenta manzanas, mismas que permitirán desarrollar una metodología de elaboración de los mapas y la determinación de los modelos de ruido de tráfico que mejor se apliquen al distrito metropolitano de Quito. La secretaría de Ambiente del Distrito, cuenta con tres estaciones fijas de medición continua y capacidad de almacenamiento permanente y dos estaciones semi-permanentes con capacidad autónoma y de almacenamiento independiente las cuales fueron colocadas en estas zonas con la finalidad de obtener datos relevantes para la ubicación de los puntos de monitoreo y la determinación de zonas de influencia.



Fig.1.- Zonas definidas para estudio

### Conteo de flujo de vehículos

Para contar los vehículos en la vía se usó contadores automáticos de vehículos TEVAFORO que se colocan sobre la calzada. Se trata del uso de un tubo de goma cerrado en un extremo y colocado transversalmente sobre la calzada; el otro extremo del tubo finaliza en una membrana flexible metálica. Cuando pasan sobre él las ruedas de los vehículos aumenta la presión de aire en su interior, lo que hace que se cierre un contacto eléctrico, que acciona el dispositivo contador.

Con todos los datos que arrojan los contadores automáticos, fue necesario desarrollar una metodología primaria para la realización de una secuencia lógica de trabajo para que se optimice en tiempo y recursos.

Por lo tanto, el trabajo realizado se lo divide en tres facetas importantes:

- Datos vehiculares
- Datos de alturas de edificios
- Datos de medición de ruido

En cuanto a la valoración de datos vehiculares se tomó en cuenta dos factores principales: los datos de los vehículos pesados y los datos de vehículos livianos. Las velocidades de los vehículos también se tomaron en cuenta por separado y se lo midió en Kilómetros por hora para posteriormente considerar el sentido de la vía que se está midiendo, el número de carriles, si existiere parterre y el ancho total de la vía. Con estos datos podemos alimentar la base de datos que necesita el software CadnaA para generar el modelo.

### Circulación de vehículos en Quito

Las mediciones se realizaron durante períodos continuos y no se aplicaron bajo condiciones climáticas adversas como lluvia, viento o nieve, que pudieran afectar la confiabilidad de los resultados. El grado de precisión de las mediciones no puede llegar a la exactitud; sin embargo, el rango de variación es menor a  $\pm 5$  dB, debido a que se utiliza un sonómetro de precisión que puede hallar variaciones en la presión sonora de hasta medio decibel. Después de determinar la curva de circulación de vehículos en horas, como se verifica en la gráfica se hicieron medidas en las siguientes horas:

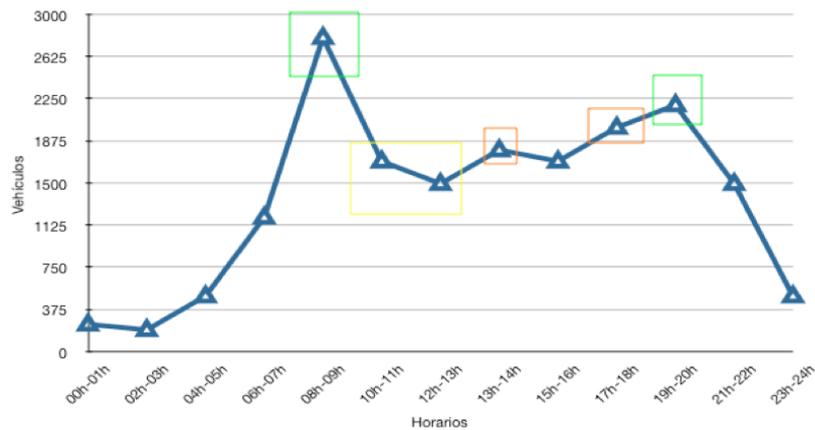


Fig.2.- Curva de circulación de vehículos

### Diseño de mapas

La información obtenida para la realización de los Mapas de ruido primarios de la ciudad de Quito se ha basado en las definiciones y recomendaciones de la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002 y al anexo 9 del libro VI del TULSMA -Ecuador- sobre Evaluación y Gestión del Ruido Ambiental. En la elaboración de los Mapas de ruido de la ciudad de Quito se han obtenido los indicadores de ruido definidos en la Directiva 2002/49/CE, estudiada y fundamento principal de este trabajo.

El nivel día-noche  $L_{dn}$  en decibelios dB(A), que se determina a partir de los niveles día y noche se define como:

$$L_{dn} = 10 \log \frac{1}{24} \left( 16 \cdot 10^{\frac{L_d}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_n+10}{10}} \right)$$

donde **Ldía (Ld)** significa el nivel sonoro equivalente a los períodos diurnos entre las 07:00 y las 23:00 horas y **Lnoche (Ln)** significa el nivel sonoro equivalente a los períodos nocturnos entre las 23:00 y las 07:00 horas. [7]

### RESULTADOS

Después del análisis de los datos de flujo vehicular y estudios realizados por la Universidad de las Américas Ecuador, se concluye que las normativas NORDIC 1996 y RLS90 son las que mejor representan el ruido de tráfico en la ciudad de Quito. Es por esto que el presente proyecto utiliza la el modelo alemán RLS-90 con muy buenos resultados.

Una vez ingresados los datos al software CadnaA se obtienen los modelos como el que se

muestra en la siguiente figura:

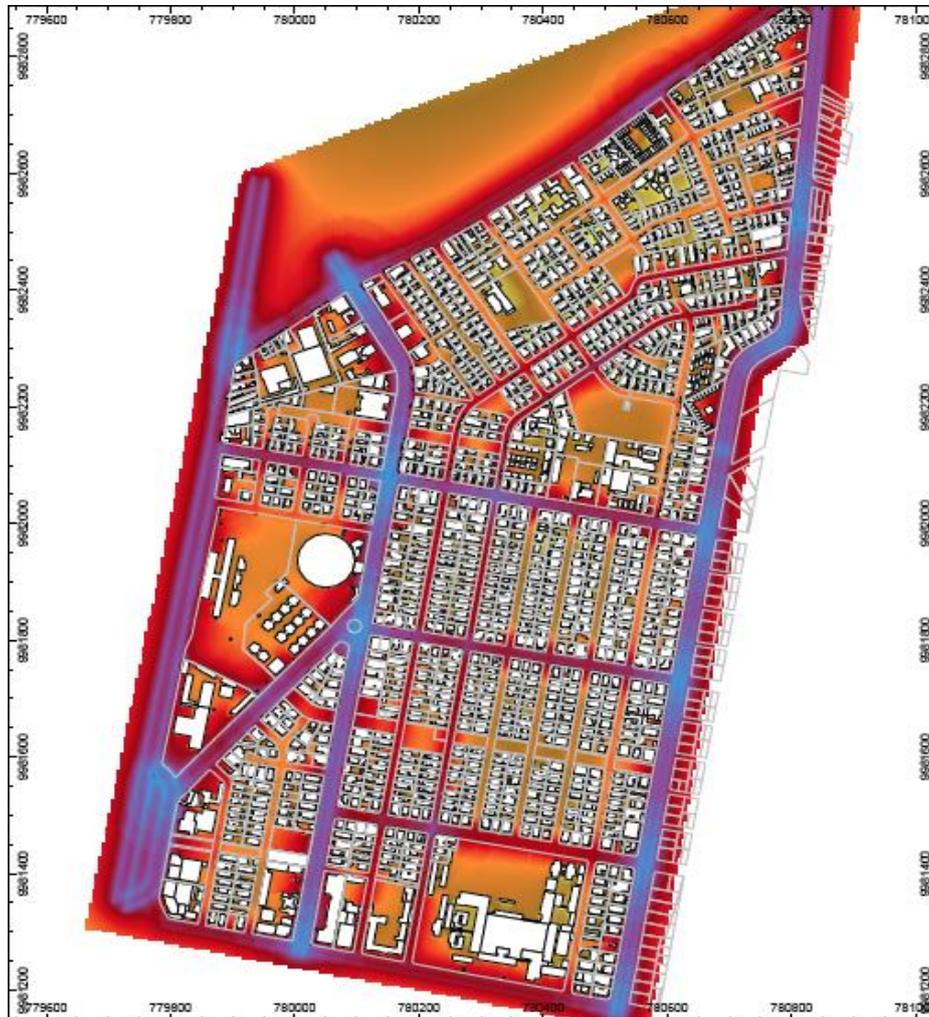


Fig.3.- Mapa de ruido nocturno zona norte

## DISCUSIÓN

Después de varias alternativas de metodología aplicable para optimización de recursos y tiempo, se plantea un procedimiento sugerido para la realización de los mapas de ruido del distrito metropolitano de Quito:

a. Planificación.-

Reuniones previas al inicio del proyecto en donde se definan los alcances: la información de campo necesaria, las tablas de levantamiento de información y los formatos para el ingreso de datos.

b. Recolección de información.-

Casi toda la información cartográfica, con excepción de la altura de las edificaciones, se encuentra disponible en la Secretaría de Ambiente. La información sobre tráfico vehicular es responsabilidad de la Secretaría de Movilidad, sin embargo debido al gran dinamismo del parque automotor y de la vialidad en la ciudad, se recomienda actualizar periódicamente dicha información, o levantarla durante el desarrollo del modelamiento.

c. Definición de la zona en estudio.-

Definición de las zonas de estudio para la ubicación de las estaciones fijas. Una vez definido el sector, se procede a realizar un recorrido detallado de la zona de estudio, para reconocer el sitio.

d. Identificación de los puntos de monitoreo.-

Identificar los puntos de monitoreo más adecuados, considerando principalmente que cuenten con características de accesibilidad y seguridad.

e. Levantamiento de información.

La información que debe ser levantada es básicamente de tráfico vehicular, altura de edificaciones y otros elementos importantes para el modelo.

f. Flujo Vehicular

El conteo en avenidas principales de alto flujo vehicular debe realizarse mediante contadores automáticos, para lo cual se puede pedir el apoyo de la Secretaría de Movilidad. En calles secundarias de menor flujo, el conteo se lo puede realizar de forma manual.

g. Altura de Edificaciones

La altura de las edificaciones puede levantarse mientras se realizan los conteos manuales. Dependiendo del modelo de predicción puede llegar a ser importante tener en consideración la ubicación de semáforos, parqueaderos, parques, follaje natural, barreras, entre otros.

h. Monitoreo

Para el monitoreo se procede a la instalación de la estación semifija misma que debe configurarse para obtener cada hora los parámetros requeridos por el modelo de predicción utilizado (RLS-90: LeqA), dicha estación debe monitorear al menos de 3 a 5 días hábiles normales completos. Días anormales serían aquellos con actividades inusuales como marchas, trabajos en la vía pública festejos, etc.

i. Tabulación de datos

En las tablas diseñadas en las reuniones previas, se ingresan los datos recolectados. Es recomendable verificar tendencias y validar la calidad de la información.

j. Ingreso de datos a Software

Con todas las tablas generadas, se procede a alimentar el software. Es importante ingresar toda la información debidamente geo referenciada.

k. Modelamiento

Una vez alimentado el software, se procede a inicializar el modelamiento. Este proceso puede llevar varias horas, dependiendo el área de estudio, el número de objetos, reflexiones, tamaño de la malla de cálculo, entre otras.

Los mapas de ruido obtenidos consideran únicamente el aporte del tráfico vehicular. Debe quedar claro que no es posible modelar otras actividades complejas como la actividad humana. Las diferencias que pueden aparecer entre el modelamiento y el monitoreo pueden deberse a las fuentes de ruido que no han sido modeladas.

Es posible realizar los mapas de ruido por sectores, los cuales deben ser definidos de acuerdo a la prioridad e intereses de la ciudad. Estos mapas pueden consolidarse posteriormente en un solo mapa de ruido más grande, o incluso para toda la ciudad. Estos mapas estratégicos de ruido deberán permitir la identificación o cuantificación de la población afectada en función de los niveles de ruido. Los parámetros o indicadores que se recomienda evaluar son Nivel Sonoro Diurno (Ld) y Nivel Sonoro Nocturno (Ln).

Por la complejidad del proyecto y la falta de estudios previos, se contó con un (1) coordinador, dos (2) técnicos de campo, y un (1) responsable del modelamiento. Con este equipo fue posible modelar las superficies descritas anteriormente en un tiempo aproximado de 4 meses.

A partir de estos antecedentes, ha sido posible determinar un costo aproximado de personal y transporte mensual, el cual se estima en \$1,000.00 - \$1,300.00 USD mensuales/Km<sup>2</sup> (Dólares mensuales por kilómetro cuadrado). Este costo no incluye el uso de equipamiento inicial para el levantamiento de información (PDA's, contadores, seguros, etc), vehículo, ni el costo asociado al responsable de modelamiento.

En conclusión el ruido es un agente susceptible de difracción por las estructuras y/o edificaciones y es un contaminante que no se dispersa como los contaminantes gaseosos, lo cual trae consigo una complejidad si se requiere muestrearlo en términos espaciales. Se necesitarían un número de estaciones de monitoreo inmensamente grande para tratar de registrar estos niveles en todo el espacio de estudio. Lógicamente que esto no resulta factible, por lo que se concluye que no es adecuado definir zonas de influencia de las estaciones fijas. Dichas estaciones tienen más bien una importancia en el análisis temporal de la evolución de los niveles de ruido. Su función radica más en la temporalidad que en la espacialidad. La ubicación de los niveles de ruido en el espacio debe realizarse necesariamente con el modelamiento computacional y la generación de los mapas de ruido. Y a su vez dichos mapas pueden irse actualizando de forma aproximada mediante los resultados de variación temporal. En forma general se puede decir que el monitoreo y el modelamiento acústico son herramientas fundamentales y complementarias entre sí.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kurtze, Gunter (1969). Física y técnica de la lucha contra el ruido. Bilbao: Ediciones URMO.
2. VII CENSO DE POBLACIÓN Y VI DE VIVIENDA 2010, decreto presidencial No. 832 del 29 de diciembre de 2007, publicado en el Registro Oficial No. 251 de 14 de enero de 2008
3. Ruza, F, El ruido del tráfico: Evaluación y corrección de su impacto, Simposio sobre Impacto Ambiental de Carreteras, PIARC, España (1988).
4. Kogan, Pablo (2004). Análisis de la Influencia de la Ponderación "A" para Evaluar Efectos del Ruido en el Ser Humano. SONIDO, RUIDO Y AUDICIÓN. Chile: Tesis para optar al grado académico de Licenciado en Acústica y al Título profesional de Ingeniero Acústico. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Escuela de Ingeniería Acústica.
5. German G., Miriam (2009). Análisis del ambiente sonoro y de la reacción humana al ruido en espacios urbanos de la ciudad de México. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Tesis Doctoral.
6. Silence (2006). Manual del profesional para la elaboración de planes de acción contra el ruido en el ámbito local. Austria: Documento elaborado durante el Sexto Programa Marco de la Comisión Europea.
7. Normativa UNE – ISO 1996-2: 1987 / UNE – ISO 11819: 2002