

# “VALIDACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE LINEARIZACIÓN DE UNA FUNCIÓN NO LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE PARA EL RUIDO AMBIENTAL URBANO EN LA ZONA SUR-OCCIDENTE DE QUITO.”

Omar Esteban Sánchez Espinosa

1. Universidad Internacional SEK

2014

---

## 1. INTRODUCCIÓN.

La molestia causada por el ruido ha estado presente desde la antigüedad, pero su importancia como agente contaminante no ha sido considerada en la toma de decisiones para la planificación del transporte, sino hasta estos últimos años. Época en la que este problema se ha incrementado a causa del crecimiento de las ciudades, el incremento vehicular o parque automotor y la disminución de las horas de silencio en la noche (Ouis, 2001).

Con el fin de diagnosticar esta contaminación por ruido, se han desarrollado alrededor del mundo modelos predictivos de ruido desde hace ya 50 años, teniendo resultados positivos. Pero para poder aplicar algunos de estos modelos en las diferentes ciudades se necesitan analizar las peculiaridades de cada ciudad (Quartieri *et al*, 2009). Debido a que la ciudad de Quito posee sus propias características, es necesario realizar un modelo matemático predictivo de ruido que se ajuste a dichas particularidades.

El ruido es uno de los contaminantes más comunes en el ambiente, ya que éste es todo sonido que cause molestia al receptor (Coral, 2012). Al tener este componente subjetivo, su medición y su tratamiento son difíciles de definir. Uno de los factores que aumentan el ruido en la ciudad de Quito, es el ruido generado por el tráfico rodado. Este ruido depende de varios factores, entre ellos el volumen de vehículos que existe y la velocidad a la que estos transitan.

Durante los últimos años, la Universidad Internacional SEK, ha realizado varias investigaciones sobre el ruido urbano en toda la ciudad, obteniendo muestras de ruido y los modelos de linearización de una función no lineal y de análisis multivariante. Por lo que fue necesario realizar más estudios en diferentes sectores de la ciudad, tomando muestras en la zona sur occidental de Quito y generando modelos matemáticos.



## 2. MATERIALES Y METODOS.

Para realizar el análisis de los modelos matemáticos predictivos de ruido, se seleccionaron seis estaciones de muestreo en la zona Sur-occidental de la ciudad de Quito. La muestra consiste en completar una semana (lunes-domingo), con mediciones del nivel de presión sonora en el periodo de las 06h00 hasta las 24h00, realizando una medición por hora un total de 18 horas. Dándonos un total de 756 muestras en el periodo de investigación. Donde se obtuvo el nivel de presión sonora, el análisis del flujo vehicular y la velocidad con la que transitan los vehículos.

Se definieron las estaciones de muestreo alrededor de todo Quito, evitando seleccionar sectores que hayan sido analizados en anteriores investigaciones.

Para esta investigación se designaron los siguientes puntos de la zona sur-occidental de la ciudad de Quito:

**Estación 1:** “Confiteca”, Avenida Pedro Vicente Maldonado y Condor ñan.

**Estación 2:** “Universidad Salesiana (Sur)”, Avenida Rumichaca y morán Valverde.

**Estación 3:** “Mena 2”, Avenida Mariscal Antonio José de Sucre y Tabiazo.

**Estación 4:** “Fuerte Militar El Pintado”, Avenida Mariscal Antonio José de Sucre y la Michelena.

**Estación 5:** “Plaza Grande”, Venezuela y Espejo.

**Estación 6:** “Parque Del Arbolito”, Avenida 12 de octubre y Tárqui.

### - Nivel de presión sonora:

En esta investigación se utilizó un sonómetro no integrador, para lo cual era necesario integrar de forma matemática los datos obtenidos en la experimentación para obtener un único valor cercano a la realidad. Para ello se necesitó tomar 1 minuto de muestra cada 12 minutos durante 1 hora, teniendo un total de 5 muestras. Y en este minuto se registró cada 5 segundos el nivel de presión sonora, un total de 12 muestras. Teniendo en total 60 muestras individuales por hora para obtener el valor representativo de la hora completa.

Para la integración se utilizó la siguiente fórmula:

$$NPSeq = 10 * \log * \sum (Pi) 10^{\frac{NPSi}{10}}$$

(Formula extraída de TULAS, Libro VI, Anexo 5, 2003)



- **Caudal:**

Para la medición del caudal de vehículos se designó un lugar, dentro de la estación de muestreo, que permita contar el número de vehículos que transitan durante la toma de muestra. El objetivo de la medición es llegar a contar cuantos vehículos transitan por la zona durante 5 minutos, siendo necesario discriminar entre vehículos livianos y pesados. Debido a la diferencia de velocidad, caudal y nivel de presión sonora que existen entre los dos. Para los dos casos se registran los datos en unidades de número de vehículos/5 minutos.

Para el análisis de datos se asumirá que el comportamiento dentro de estos 5 minutos, se repetirá 12 veces en la hora. Con el fin de proyectar el número de vehículos que transitan en una hora específica.

- **Velocidad promedio:**

Para la correcta medición de la velocidad, se seleccionó un punto que se encuentre a 100 metros de distancia del lugar donde se está muestreando. Con la condición de que se pueda observar todo el trayecto de los 100 metros. En ambas direcciones de la calle.

Se midió el tiempo que tardaron 6 vehículos livianos en trasladarse los 100 metros, 3 en cada dirección de la calle, así mismo, se midió el tiempo que tardaron 4 vehículos pesados en trasladarse los 100 metros, 2 en cada dirección de la calle.

Obteniendo al final datos de velocidad de los vehículos en km/h.

- **Linearización de una Función no Lineal:**

Para realizar el análisis por linearización de una función no lineal, se deben obtener los promedios semanales de cada hora, para el nivel de presión sonora y para el caudal, el cual se debe obtener el logaritmo en base 10. Con el fin de obtener una ecuación como la siguiente:

$$Leq = A + B * \log(Q)$$

Para ello es necesario graficar los promedios del nivel de presión sonora, vs el logaritmo en base 10 del caudal, y hacer un ajuste lineal mediante una línea de tendencia.

- **Análisis Multivariante:**

Para realizar el análisis multivariante, fue necesario obtener los promedios semanales de los niveles de presión sonora, el caudal y la velocidad promedio.

Estos datos se los procesaron a través del análisis de datos del Excel, utilizando una regresión de varias variables.

El análisis multivariante se interpreta como la siguiente ecuación:

$$Leq = y + Ax1 + bx2 \dots + xn$$

Se analizaron dos métodos para el análisis multivariante, utilizando la velocidad total y la velocidad de vehículos livianos y pesados diferenciada.



## VALIDACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE LINEARIZACIÓN DE UNA FUNCIÓN NO LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE PARA EL RUIDO AMBIENTAL URBANO EN LA ZONA SUR-OCCIDENTE DE QUITO.

### - Validación de los modelos matemáticos:

Para validar los modelos matemáticos es necesario obtener los niveles de presión sonora que se representarían con los modelos de linearización y de análisis multivariante.

Una vez obtenido esto se utiliza la siguiente tabla la cual con los índices de confianza indica si el modelo se valida o no se valida.

Si la media de las muestras se encuentra dentro de los índices de confianza, el modelo esta validado y se marcara con el color verde claro. De lo contrario, si el modelo no está validado por este proceso se marcará de rojo.

Tabla de registro para la validación de los modelos.

ESTACIÓN						
HORA	NPSeq Exp [dB(A)]	NPSeq LNFL [dB(A)]	NPSeq AM [dB(A)]	Q (A/h)	E. Abs. LFNL [dB(A)]	E. Abs. AM [dB(A)]
06H00 - 06H59						
07H00 - 07H59						
08H00 - 08H59						
09H00 - 09H59						
10H00 - 10H59						
11H00 - 11H59						
12H00 - 12H59						
13H00 - 13H59						
14H00 - 14H59						
15H00 - 15H59						
16H00 - 16H59						
17H00 - 17H59						
18H00 - 18H59						
19H00 - 19H59						
20H00 - 20H59						
21H00 - 21H59						
22H00 - 22H59						
23H00 - 23H59						
X media [dB(A)]				Mínimo [dB(A)]		
IC 99%				Máximo [dB(A)]		
IC LFNL [dB(A)]		IC AM [dB(A)]		Desv. Est. { S }		
				CoeF. Corr. { r }		
				√n		

(Tabla elaborada por: Santiago Vega 2013, modificaciones del grupo de investigación 2014)



## VALIDACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE LINEARIZACIÓN DE UNA FUNCIÓN NO LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE PARA EL RUIDO AMBIENTAL URBANO EN LA ZONA SUR-OCCIDENTE DE QUITO.

### - Sector Sur occidental:

Se obtuvo un modelo de linearización de una función no lineal y de análisis multivariante para el sector sur occidental de la ciudad de Quito.

Para realizar este modelo fue necesario obtener los promedios del nivel de presión sonora, de caudal y de velocidad de las primeras 4 estaciones de muestreo, se excluyó la estación 5 y 6 debido a que estas 2 no se encuentran en el sector sur de la ciudad.

Estos modelos obtenidos también fueron validados con la misma metodología, para determinar su confiabilidad.

### 3. Resultados:

Para exponer de mejor forma los resultados se presentará unas tablas en las cuales se muestra el modelo de linearización de una función no lineal y el modelo de análisis multivariante, su correspondiente coeficiente de correlación y si esta validado o no.

La siguiente tabla indica los modelos de linearización de una función no lineal:

ESTACIÓN	LINEARIZACIÓN DE UNA FUNCIÓN NO LINEAL	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	VALIDACIÓN	
1 Confiteca	$Leq = 43,334 + 7,9988\text{Log}(Q)$	0,7939	Si	No
2 Salesiana	$Leq = -10,78 + 23,514\text{Log}(Q)$	0,9682	Si	No
3 Mena 2	$Leq = 11,795 + 16,741\text{Log}(Q)$	0,8052	Si	No
4 Fuerte Militar	$Leq = 25,559 + 12,568\text{Log}(Q)$	0,7584	Si	No
5 Plaza Grande	$Leq = 6,1675 + 21,796\text{Log}(Q)$	0,99	Si	No
6 Parque del Arbolito	$Leq = 17,868 + 15,684\text{Log}(Q)$	0,9729	Si	No
SECTOR	$Leq = 6,4869 + 18,438\text{Log}(Q)$	0,9605	Si	No

(Tabla elaborada por Omar Sánchez 2014)

Como se puede observar en la tabla, los modelos de linearización de una función no lineal se validaron.

De la misma forma, a continuación, se presenta una tabla que represente los modelos de análisis multivariante.

ESTACIÓN	ANÁLISIS MULTIVARIANTE	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN MULTIPLE	VALIDACIÓN	
1 Confiteca	$Leq = 69,45 + 0,0026Q - 0,1206vt$	0,8323	Si	No
2 Salesiana	$Leq = 48,93 + 0,005Q + 0,1857vt$	0,9742	Si	No
3 Mena 2	$Leq = 70,4 + 0,0033Q - 0,281vt$	0,8433	Si	No
4 Fuerte Militar	$Leq = 65,32 + 0,0018Q - 0,044vt$	0,7507	Si	No
5 Plaza Grande	$Leq = 51,03 + 0,0019Q + 0,1278vt$	0,9877	Si	No
6 Parque del Arbolito	$Leq = 58,51 + 0,0054Q - 0,0078vt$	0,9677	Si	No
SECTOR	$Leq = 57,58 + 0,0035Q + 0,067vt$	0,9644	Si	No

(Tabla elaborada por Omar Sánchez 2014)

Para la validación de los modelos de análisis multivariante se escogió los modelos que usaban velocidad total, debido a que el coeficiente de correlación múltiple de los dos métodos no tenía mayor diferencia.

Los modelos de análisis multivariante para cada estación y para el sector se validaron correctamente.

#### 4. DISCUSIÓN:

El ruido provocado por el tráfico rodado en zonas urbanas, va a depender de muchos factores aparte del caudal y la velocidad de circulación. Los patrones socio-económicos de la zona, el sitio de la ciudad, la época del año, la pendiente de las calles, las condiciones climáticas, estructura de la calle, etc. son algunos ejemplos de otros factores que afectan al ruido generado por el tráfico rodado. En este estudio, cada estación presentó características muy diferentes en varios de estos factores.

En las estaciones de muestreo se evitó que existan ruidos ajenos al tráfico, como por ejemplo las voces de los vendedores ambulantes en la estación 5 Plaza Grande. Ya que estos ruidos alteran la medición y los modelos ya no representan la realidad de la zona.

Se demostró en este estudio que los modelos matemáticos de linearización de una función no lineal y de análisis multivariante son eficaces para cada estación.

#### 5. CONCLUSIONES:

- La utilización de los modelos matemáticos de linearización de una función no lineal y de análisis multivariante son una excelente herramienta para poder predecir el ruido generado por el tráfico rodado.
- Para siguientes estudios es necesario trabajar con un sonómetro integrador para facilitar el trabajo del investigador y para evitar errores por la cantidad de información manejada.



## VALIDACIÓN DE LOS MODELOS MATEMÁTICOS DE LINEARIZACIÓN DE UNA FUNCIÓN NO LINEAL Y ANÁLISIS MULTIVARIANTE PARA EL RUIDO AMBIENTAL URBANO EN LA ZONA SUR-OCCIDENTE DE QUITO.

- Para generar un modelo del sector sur occidental es necesario trabajar con mayor número de estaciones dentro de este sector. Ya que al trabajar solo con 4 estaciones no nos da una información suficiente para generar dicho modelo.
- La metodología para validar los modelos matemáticos es eficaz para que la información sea verídica y se la pueda utilizar en posteriores estudios.
- Los modelos se ven afectados cuando existe una intersección con semáforos. Ya que este al detener el tráfico crea un espacio de silencio, y al momento que permite avanzar se genera un ruido excesivo. Creando así picos en las mediciones.

Kattán, F., 2013, “Validación de los modelos matemáticos de ruido urbano UISEK de linearización de una función no lineal y análisis multivariante en el sector sur-oriental de la ciudad de Quito”, *Universidad Internacional SEK*, Tesis, fecha de consulta: 10/12/2013, <<http://repositorio.uisek.edu.ec/jspui/handle/123456789/603>>.

Riquelme, G., 2007, “Estudio del ruido de tráfico vehicular de la Avenida Ribera Norte Sector Industrial Talcahuano mediante modelos de propagación”, *Universidad Austral de Chile*, Tesis, fecha de consulta: 21/07/2014, <<http://es.scribd.com/doc/76952335/bmfcir594e>>.

### 6. BIBLIOGRAFÍA:

Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS), Libro VI, Anexo 5, 2003, “Límites permisibles de ruido ambiente para fuentes fijas y fuentes móviles, y para vibraciones”, fecha de consulta: 12/02/2014, <<http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6078/51/LIBRO%20VI%20Anexo%205%20Ruido.pdf>>.

Quarteri, J., Mastorakis, N., Iannone, G., Guarnaccia, C., D'Ambrosio, S., Troisi, A. & TLL Lenza, 2009, “A review of traffic noise predictive models”, Technical University of Sofia, fecha de consulta: 19/02/2014, <<http://www.wseas.us/e-library/conferences/2009/tenerife/MCHANICS/MECHANICS-12.pdf>>



Ouis, D., 2001, "Annoyance from road traffic Noise: a review", *Journal of environmental psychology*, Vol. 21, pp. 101-120, fecha de consulta: 19/02/2014, <<http://www.sciencedirect.com.wwwprox.y0.library.unsw.edu.au/science/article/pii/S0272494400901877>>.