

## Estudio de la propagación del ruido de tráfico en diversas calles de la ciudad de Madrid

**Gemma M<sup>a</sup> Echevarría, Antonio Pedrero, César Díaz.**

Grupo de investigación en Acústica Arquitectónica.

Universidad Politécnica de Madrid. ETS de Arquitectura.

Avda. Juan de Herrera 4. 28040 Madrid.

E-mail: [gemmaechevarria@gmail.com](mailto:gemmaechevarria@gmail.com); [antonio.pedrero@upm.es](mailto:antonio.pedrero@upm.es); [cesar.diaz.sanchidrian@upm.es](mailto:cesar.diaz.sanchidrian@upm.es)

### Resumen

El ruido de tráfico generado en la ciudad es uno de los principales problemas ambientales que afecta notablemente a la calidad de vida de los ciudadanos. Actualmente, la manera de abordar el problema de la contaminación acústica se basa principalmente en medidas correctoras que se aplican a posteriori; cuando el problema ya existe. El problema del ruido debería abordarse además, con medidas preventivas aplicables en la fase de diseño de la ciudad. Sin embargo existen pocos estudios acústicos que puedan aportar conclusiones concretas sobre cómo afectan acústicamente las decisiones tomadas en el planeamiento urbano, ni sobre cómo podrían optimizarse.

El trabajo realizado consiste en el estudio de la propagación de ruido en diversas calles representativas de la ciudad de Madrid que pertenecen a diversas tipologías urbanas. De él se concluye que existe una relación directa entre las características tipológicas urbanas y la propagación del ruido. Este estudio representa la base para la investigación acústica sobre múltiples aspectos urbanos y se encuadra en esta nueva área de investigación dentro de la acústica, que podría estar al servicio del planeamiento urbanístico, aportándole las herramientas que precisa para optimizar el diseño de las ciudades teniendo en consideración la problemática del ruido.

**Palabras-clave:** ruido, propagación, ciudad, urbanismo, planeamiento.

### Abstract

Traffic noise generated in the city has become one of the main environmental problems that significantly affects the quality of life of its citizens.

Currently, the approach to the problem of acoustic noise pollution is mainly based on corrective methods that are applied retrospectively; when the problem already exists.

The problem of noise pollution in the city should also be dealt with preventive methods, developed in the design phase of the city. However there are few studies that can provide concrete conclusions on how urban planning decisions can affect acoustically the noise problem, or how to optimize it.

This work consists in studying noise propagation in several representative streets in the city of Madrid. These streets are a selection belonging to different urban typologies. This study reveals that a direct relation exists between the urban typological characteristics and the noise propagation. This conclusion represents the base for acoustic research on multiple urban aspects. The work fits into this new area of research in acoustics, which could be at the service of the urban planning, giving it the tools it needs to improve urban designing taking into account the problem of noise.

**Keywords:** Noise, propagation, city, urbanism, urban planning.

PACS no. 43.50.Sr, 43.50.Vt

## 1 Introducción

El ruido es un problema fundamentalmente urbano, siendo el ruido de tráfico la principal fuente de contaminación acústica en las ciudades, que ha ido cobrando cada vez mayor importancia no solamente como contaminante ambiental, sino también como factor negativo para la calidad de vida de los ciudadanos. El ruido perjudica al bienestar y a la salud de las personas, produciendo efectos fisiológicos y psíquicos adversos: la pérdida progresiva de audición, la alteración del ritmo cardíaco, de la presión arterial y de los niveles de segregación endocrina, insomnio, cefaleas crónicas o el aumento de un 20% la posibilidad de sufrir infartos. Además produce irritabilidad y estrés, afecta negativamente a la capacidad de concentración, también influye en la siniestralidad laboral y produce trastornos en el sueño.

Este problema ha motivado la reciente aparición de la legislación dirigida a reducirlo, que aún es escasa y su cumplimiento no es demasiado exigente. Actualmente no se han conseguido los objetivos iniciales fijados por el Libro Verde de la Comisión Europea [1].

Para conseguir el objetivo de erradicar el ruido en los próximos años, se necesita una gran cantidad de medidas técnicas, administrativas, políticas, educativas y de gestión.

Las medidas técnicas utilizadas para paliar el problema del ruido en la ciudad, son entre otras, la obstrucción de la trayectoria del ruido, el aislamiento acústico, el desarrollo de nuevos pavimentos más silenciosos... etc. La aplicación de estas medidas se realiza a posteriori, ya que son necesarias cuando el problema ya existe [2]. Sin embargo, la contaminación acústica podría abordarse también con soluciones preventivas urbanísticas. En la planificación de la ciudad no se tiene en cuenta la problemática del ruido desde un punto de vista técnico, cuando podría disponer de herramientas de básica importancia para paliar de forma preventiva los problemas del ruido en la ciudad tomando decisiones en cuanto a los usos generales y pormenorizados del suelo, la geometría de la calle, las tipologías edificatorias y la orientación del edificio con respecto a la vía rodada, o la influencia de los elementos urbanos en la propagación del ruido.

El objetivo del estudio, consiste en la obtención de conclusiones concretas sobre la influencia que ejerce en el ruido de tráfico los distintos parámetros geométricos de las calles, de los elementos urbanos que la componen y de las distintas tipologías edificatorias; de manera que puedan usarse como herramientas de utilidad para que el planeamiento urbanístico pudiera tener en consideración la problemática del ruido y contribuir con métodos preventivos a la lucha contra el ruido.

Para ello se han seleccionado nueve calles representativas de la ciudad de Madrid, de diversas características urbanas para el estudio de distribución de ruido en una zona concreta de cada una de ellas.




## 2 Procedimiento del trabajo

### 2.1 Selección de calles

Se han elegido nueve calles de la ciudad de Madrid, procurando la mayor variedad posible de características urbanas; atendiendo a los distintos tejidos urbanos, a los diferentes tipos de viario e intensidades de tráfico, seleccionando distintas tipologías edificatorias y diversas posiciones de la edificación con respecto a la vía rodada, así como los distintos grados de permeabilidad de edificación. Por último las calles escogidas presentan distinta configuración de los usos pormenorizados en planta y pertenecen a distintas formas de crecimiento [3].

Se ha seguido un criterio de selección principalmente geométrico, atendiendo a la variedad de alturas de edificación y de anchuras de calle. La importancia de la geometría es evidente para el análisis de la distribución del ruido puesto que la edificación limita la trayectoria del sonido y provoca el aumento de reflexiones del mismo. Se seleccionaron calles con distintas anchuras; considerando la distancia entre edificios, y se agruparon en anchuras de 10, 30, 50 y más de 90m. Para facilitar su reconocimiento en tablas y diagramas se les asigna una gama de color a cada dimensión.

Para cada una de las anchuras se han seleccionado calles con distinta altura de edificación, clasificadas en tres grupos principales: altura de edificación baja, media y alta. Para facilitar su reconocimiento se les asigna una letra por orden de alturas o número de plantas, y la gama de color correspondiente varía su luminosidad en función de la altura.

ALTURA EDIFICACION	Nº DE ALTURAS	TONALIDAD
- <b>a:</b> Baja	1 a 4	Claros 
- <b>b:</b> Media	5 a 8	Intensas 
- <b>c:</b> Alta	9 a más de 12	Oscuras 

Por último las calles se encuentran repartidas por el área Metropolitana de la ciudad de Madrid.

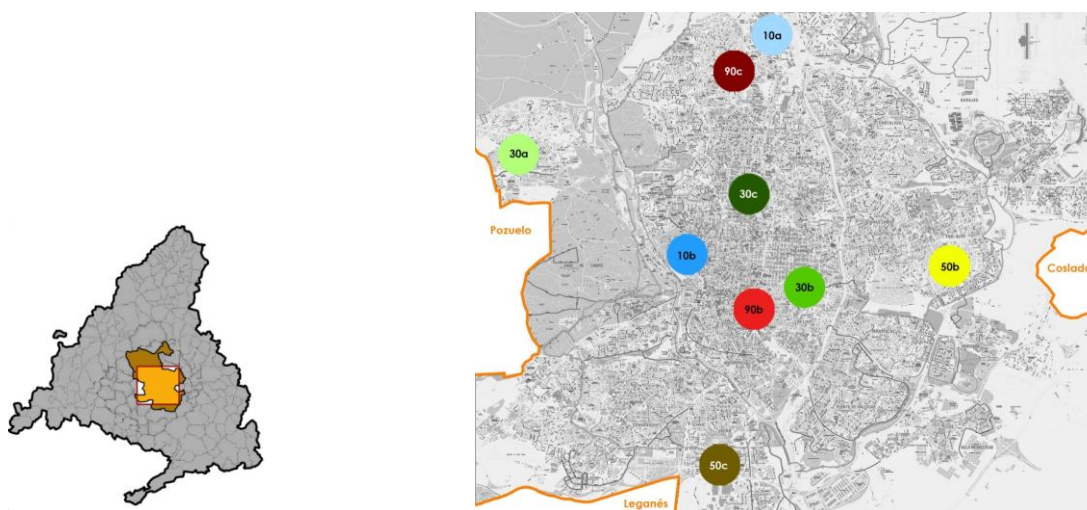


Figura 1– Situación de las 9 calles de estudio en el área metropolitana de la ciudad de Madrid.

En la siguiente tabla se enumeran las nueve calles madrileñas seleccionadas para el estudio de la distribución de ruido de tráfico y se especifica la nomenclatura escrita y el código de colores para la definición de anchura y altura de cada una de ellas:

Tabla 1 - Nomenclatura y código de color de cada calle.

10a		Calle de Nuestra Señora de Valverde	50a		-
10b		Calle de Martín de los Heros	50b		Calle de Pobladura del Valle
10c		-	50c		Calle de Gran avenida
30a		Avenida de la Galaxia	90a		-
30b		Calle de Ibiza	90b		Paseo del Prado
30c		Calle de Orense	90c		Avenida de la Ilustración

## 2.2 Medición de ruido in situ

Se ha realizado una medición in situ en cada una de las calles para evaluar la exposición al ruido de tráfico en el momento concreto de la medida, de cara a poder validar el modelo en el software de predicción y evaluación de ruido ambiental y comprobar la fiabilidad de sus resultados.

El intervalo de medición ha sido de 15 minutos y se ha procedido al conteo de vehículos ligeros y pesados durante el mismo. Estas mediciones cumplen con la norma UNE-ISO 1996-2:2009 Acústica, descripción, medición y evaluación del ruido ambiental: Determinación de los niveles de ruido ambiental [4].

Los parámetros registrados de mayor relevancia son el nivel de presión sonora continuo equivalente  $L_{Aeq}$ ; necesario para la validación del modelo de predicción, y el nivel percentil  $L_{90}$ ; con el que se valorará el ruido residual en las calles donde el flujo de tráfico no es continuo.

## 2.3 Cálculo de la incertidumbre de medida

Se ha calculado la incertidumbre expandida para cada una de las mediciones, teniendo en cuenta un factor de cobertura de  $k=2$  que garantiza un nivel de confianza del 95 %, según la tabla 1- Resumen de la incertidumbre de medición para  $L_{Aeq}$  de la norma UNE-ISO-1996-2:2009 [4].

Se han tenido en cuenta las componentes de incertidumbre asociadas a la clase de instrumentación utilizada, a las condiciones de funcionamiento, a las condiciones meteorológicas y del terreno, y al sonido residual. Para ello se considera el número total de vehículos que pasaron por la vía durante el intervalo de tiempo de medición, así como el tipo de tráfico y los resultados de la medición de ruido in situ.

Tabla 2. Calle de Orense (30c) Cálculo de incertidumbre de medida.

CALLE	COLOR	$L_{Aeq}$	CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE DE MEDIDA													
			DATOS DE MEDIDA				DATOS CÁLCULADOS				INCERTIDUMBRE TÍPICA				INCERT. COMBINADA	INCERT. EXPANDIDA
			n	Tráfico	C	$L_{res}$ ( $L_{A90}$ )	$L_{tot}$ ( $L_{Aeq}$ )	$L_{tot}-L_{res}$	$C_{resid}$	I (dB)	X (dB)	Y (dB)	Z (dB)	$\sigma_t$ (dB)	$\pm 2,0 \sigma_t$ (dB)	
30c			149	mixto	10	63,1	64,5	1,4	1,0	1	0,8	0,5	1,0	1,7	$\pm 3,4$	

## 2.4 Predicción de ruido

Se ha utilizado el programa CadnaA como software de predicción y evaluación de ruido ambiental para la obtención de mapas de ruido y mallas verticales correspondientes a las secciones objeto de estudio en cada una de las calles [5].

Es interesante conocer la distribución del ruido de tráfico en las distintas situaciones que reflejan cada una de las calles, y en las tres dimensiones del espacio urbano, a fin de poder distinguir las diferencias entre ellas no solo en cuanto a nivel de ruido, sino también atendiendo a su forma de distribución.

Se presta especial atención a los niveles de ruido en fachada que se reciben en cada planta de los edificios situados a ambos lados de la vía en la sección de estudio.

Se tienen en cuenta los distintos tipos de pavimento, las vías rodadas adyacentes a la calle de estudio, los distintos tipos de superficie de carretera, las propiedades absorbentes de los edificios y del terreno, así como la volumetría de los coches aparcados.

Se considera el modelo validado cuando el nivel calculado en CadnaA en el punto M1; equivalente a la posición del sonómetro, se encuentra dentro de los márgenes superior e inferior definidos por el cálculo de la incertidumbre de medida realizada in situ.

Una vez validado un modelo se procede a sustituir los valores de conteo de vehículos durante el intervalo de tiempo de la medición, por los valores de Intensidad Media Diaria del año 2010 publicados por el Área de gobierno de seguridad y movilidad.

Con la nueva configuración de cálculos y de carreteras se procede al cálculo final del modelo, y al cálculo de los mapas de ruido y mallas verticales. También se registran los niveles sonoros medios  $L_{den}$  en fachada para cada una de las plantas de los dos edificios a cada lado de la sección de estudio. [6]

## 2.5 Estudio comparativo

Se representan los resultados en gráficas para facilitar su estudio comparando los resultados. En ellas se compara la variación de los niveles sonoros medios  $L_{den}$  en función de la altura de los dos edificios enfrentados en la misma sección de una calle.

También se realiza la comparación de los niveles  $L_{den}$  registrados en fachada entre todas las calles objeto de estudio.

Por último se realiza un cálculo de correlación entre los niveles sonoros medios  $L_{den}$  y la altura de la edificación. La pendiente de la recta de regresión representa la relación que existe entre ambas variables y el coeficiente de determinación lineal  $R^2$  nos indicará la representatividad del modelo lineal y la existencia de variabilidad común.

### 3 Conclusiones

#### 3.1 Conclusión general

Los resultados de este estudio llevan a la conclusión general de que existe una relación entre las características tipológicas urbanas en su conjunto y la forma de propagación del ruido de tráfico.

Se demuestra la importancia de la anchura de la calle para la distribución general del ruido así como la relevancia de las alturas de los edificios en los que se obtienen en fachada distintas variaciones en los niveles de presión sonora con la altura. Por lo tanto podrían establecerse distintos modelos de propagación de ruido atribuibles a distintas tipologías urbanas.

#### 3.2 Influencia del aparcamiento

En todos los mapas de ruido verticales de las secciones de estudio se observa el efecto que produce el aparcamiento de coches; que actúa como obstáculo para la propagación del ruido, apantallando las fachadas de los edificios, reduciendo los niveles de ruido en las primeras plantas eficazmente y reduciendo el ruido en las aceras disminuyendo la molestia en el peatón. Esto demuestra la importancia que representa la disposición geométrica de los volúmenes en el espacio urbano como son las líneas de aparcamiento.

A mayor distancia de separación entre línea de aparcamiento y fachada se consigue apantallar a mayor número de plantas, aunque con menor eficacia que si la separación fuera menor; en cuyo caso se reduce de manera importante los niveles de presión sonora que se recibe en fachada, pero afecta a menor número de plantas.

Los parámetros que intervienen en la eficacia de este apantallamiento son la distancia entre fuente sonora y línea de aparcamiento, la distancia entre línea de aparcamiento y el edificio, y el tipo de aparcamiento: en línea, en batería, en diagonal o superficie de aparcamiento.

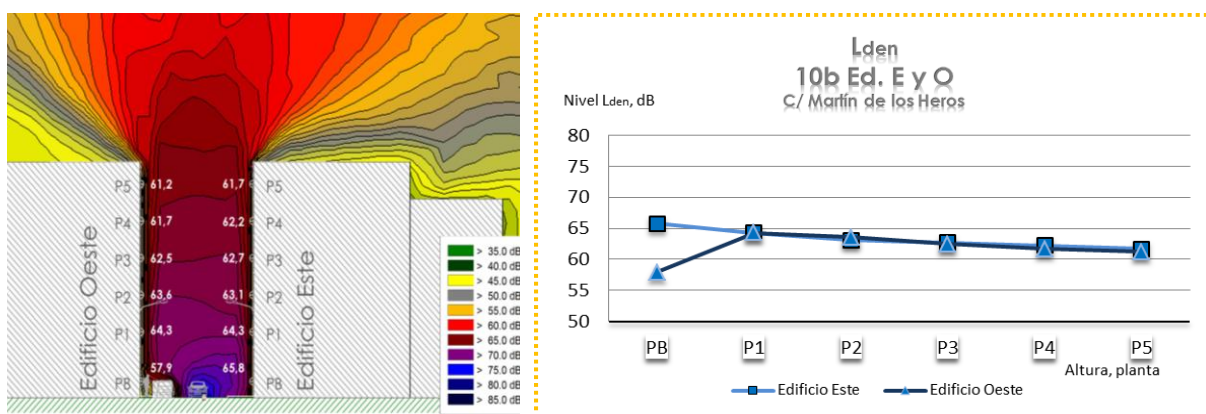


Figura 2– 10b. C/ Martín de los Heros. Comparación de Niveles en fachadas y la influencia del aparcamiento.



### 3.3 Retranqueo de fachada

En aquellos edificios que presentan un retranqueo en fachada, se produce un efecto de apantallamiento a las siguientes plantas que consigue reducir eficazmente los niveles de presión sonora.

Tal es el ejemplo del edificio Este de la calle de Orense (30c) que presenta en el piso décimo un retranqueo de 6m que consigue reducir en el piso siguiente más de 10dB de niveles de ruido en la fachada.

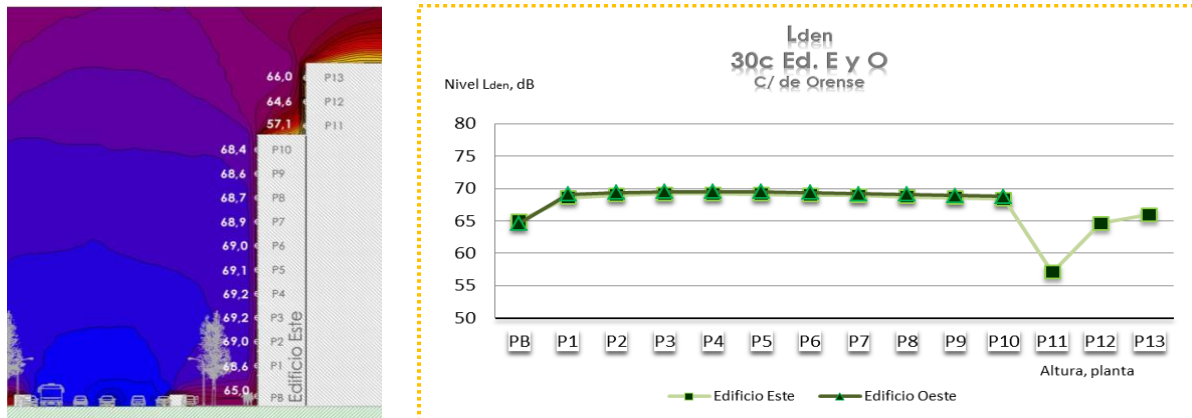


Figura 3.- 30c. C/ de Orense. Edificio Este. Influencia del retranqueo en fachada en el piso décimo.

La eficacia de este apantallamiento depende de los siguientes parámetros: la distancia del retranqueo, la altura del edificio a la que se encuentre el retranqueo y la distancia a la que se encuentre la fuente de ruido del edificio.

### 3.4 Geometría de la sección urbana

Se demuestra la diferente manera de propagación del ruido en las calles en función de la anchura entre edificios y junto con un conjunto de características urbanas que tienen en cuenta la posición y geometría de los distintos elementos urbanos existentes.

Se comparan las distintas formas de propagación de ruido para los dos casos geométricos opuestos: calles de gran anchura en las que existe una libertad de propagación del sonido mayor, en contraste con las calles de poca anchura en las que el sonido no dispone de suficiente espacio urbano.

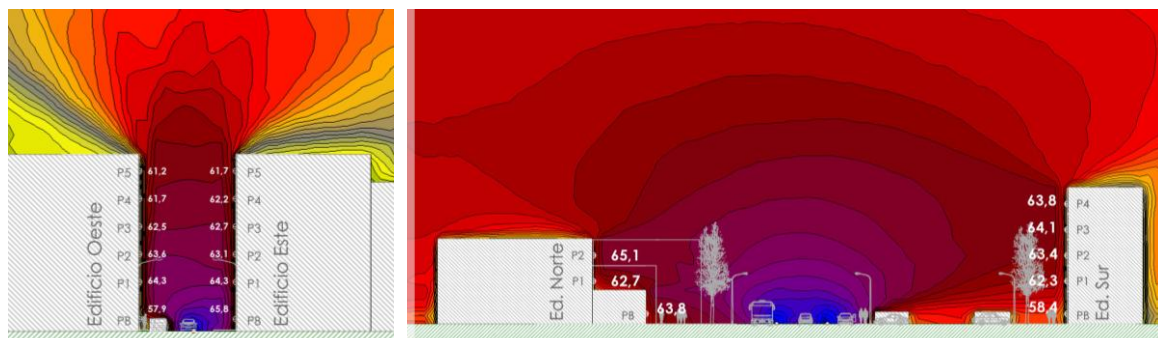


Figura 4. Calles 10b y 50b. Comparación de la distribución de ruido en sección entre calles de distinta anchura.

### 3.5 Efecto de la sombra acústica por propagación

Las calles que disponen de gran anchura, presentan el efecto que provoca la sombra acústica de la propagación del ruido de tráfico, gracias a la cual se reduce significativamente el nivel de presión sonora en fachada cuando el edificio se encuentra dentro del efecto de la sombra acústica.

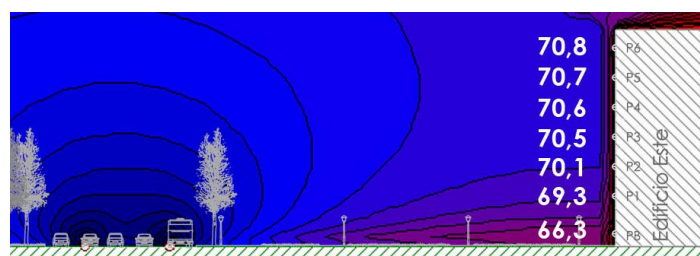


Figura 5. Calle 90b. Paseo del Prado. Efecto de la sombra acústica por propagación en las primeras plantas.

Este efecto aparece a partir de una distancia aproximada de 15m de la vía rodada, siempre y cuando existan unas condiciones ambientales propicias. Los parámetros que influyen en la sombra acústica por propagación son: la distancia del foco sonoro, el gradiente de temperaturas, la existencia de viento y las condiciones meteorológicas.

### 3.6 Niveles $L_{den}$ registrados en fachada

De la comparación entre los niveles  $L_{den}$  registrados en fachada, se deduce que existe una correspondencia directa entre la Intensidad Media de Tráfico y los niveles que se generan en la fachada de los edificios de cada una de las calles.

Los niveles muy altos en fachada (>70 dB) se registran exclusivamente en las dos calles de ancho mayor de 90m que son las únicas dos calles cuyas vías rodadas se clasifican como redes primarias con un IMD mayor de 70.000 vehículos que precisan de anchos mayores de 90m para su trazado.

Los niveles altos en fachada (65-70 dB) se registran solo en los viarios clasificados como red secundaria que conecta los distintos distritos de Madrid y disponen de un tráfico medio con una IMD de entre 8.700 hasta 20.000.

Los niveles medios en fachada (60-65 dB) se registran solamente en las calles estudiadas cuyos viarios se clasifican como redes locales que presentan un IMD menor de 8.700 vehículos.

Tabla 3. Orden de calles en función de la Intensidad Media Diaria de tráfico.

ORDEN DE NIVEL $L_{den}$ EN FACHADA				
CALLE	color	Nivel $L_{den}$	Tipo de viario	IMD
90b	rojo	Muy alto	Red 1 <sup>aria</sup>	92095
90c	rojo oscuro	Muy alto	Red 1 <sup>aria</sup>	76894
30c	verde oscuro	Alto	Red 2 <sup>aria</sup>	20628
30b	verde	Alto	Red 2 <sup>aria</sup>	8744
50b	amarillo	Alto	Red 2 <sup>aria</sup>	8678
50c	verde claro	Medio	Red local	7008
10b	azul	Medio	Red local	2978



### 3.7 Variación de los niveles $L_{den}$ con la altura.

Existe una tendencia general de los niveles de presión sonora  $L_{den}$  a descender con la altura. Sin embargo esto no ocurre así en los siguientes casos:

- Aumentan los niveles de presión  $L_{den}$  con la altura en las primeras plantas cuando existe efecto de apantallamiento provocado por líneas de aparcamiento frente al edificio.
- Aumentan los niveles de presión  $L_{den}$  con la altura en las plantas afectadas por el apantallamiento provocado por retranqueo en fachada.
- Aumentan los niveles de presión  $L_{den}$  con la altura en las primeras plantas de los edificios situados en las calles que presentan una gran anchura, debido al efecto de sombra acústica por la propagación del ruido de tráfico.
- Los niveles  $L_{den}$  se mantienen prácticamente invariables con la altura en los casos estudiados que presentan edificación alta (c) que supera las 12 plantas de altura.

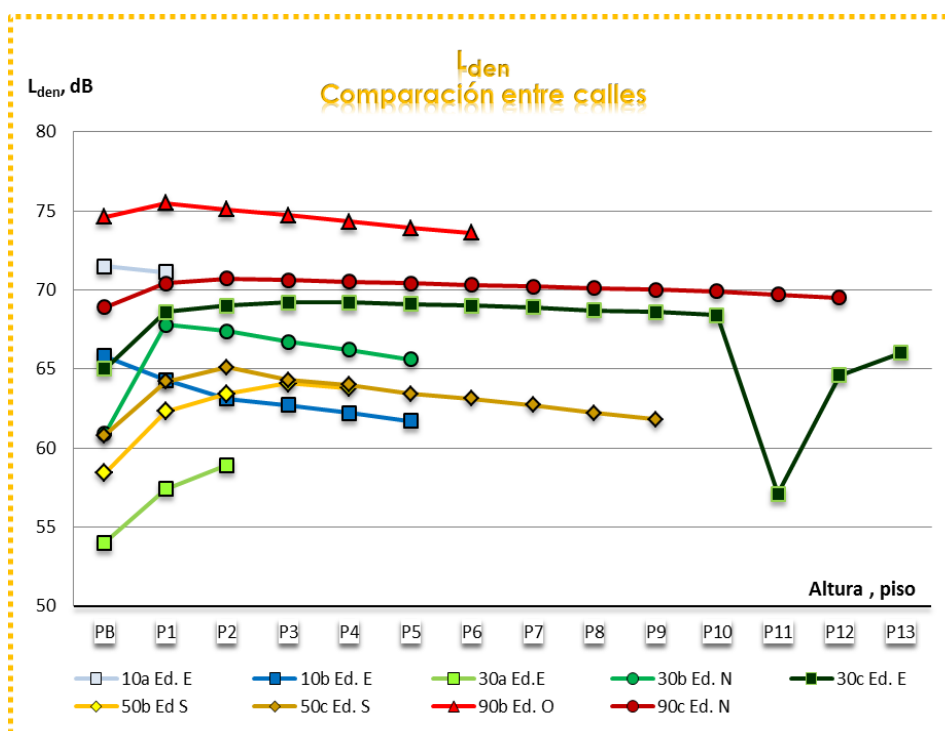


Figura 6. Niveles  $L_{den}$  en fachada a cada altura de edificación en cada una de las calles estudiadas.

### 3.8 Conclusión final.

A partir de los resultados de este estudio se concluye que sería posible optimizar el diseño de la ciudad para disminuir la molestia del ruido y contribuir de forma preventiva a la lucha contra el ruido. Además se deducen algunas de las herramientas que podría utilizar la ordenación urbana, como son la posición óptima del aparcamiento, los retranqueos en los edificios, la geometría de la sección urbana, y en general la forma del edificio, la distancia y su posición con respecto a las vías rodadas.

## Referencias

- [1] Comisión de las Comunidades Europeas, “El libro verde sobre el Medio Ambiente Urbano”, Bruselas 1990.
- [2] NORMA ESPAÑOLA UNE-ISO 1996-1. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación, AENOR, Junio 2005.
- [3] Agustín Hernández Aja, “Tipología de calles de Madrid”, cuaderno N<sup>o</sup>8 de investigación urbanística del Instituto Juan de Herrera de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid, 1995.
- [4] NORMA ESPAÑOLA UNE-ISO 1996-2. Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental, AENOR, septiembre 2009.
- [5] Álava Ingenieros, Manual del usuario de CadnaA versión 3,7, 2005-2008.
- [6] Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Version 2 13<sup>th</sup> January 2006. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN).