



**Calidad ambiental. Estudio acústico y medidas correctoras en una urbanización residencial de las Palmas de Gran Canaria**

**Autor:** Laura Abad Toribio

**Institución:** Universidad Alfonso X el Sabio

**Otros autores:** Monserrat Betancor Carasa (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria)

---

## Resumen

La calidad ambiental es uno de los componentes de la calidad de vida en una comunidad. Uno de los indicadores de esta calidad lo constituye el ruido acústico. Desde esta perspectiva, la comunicación que presentamos aborda un trabajo clásico de la ingeniería acústica como es un estudio acústico de impacto ambiental. En concreto dentro de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria existe una urbanización residencial, de nombre La Guillena, que se ha visto afectada por una autovía que circunvala la ciudad, construida con posterioridad a la citada urbanización. El objetivo del trabajo es establecer si es esta vía la única causante de las molestias por ruido, o bien lo son otras cercanas. Las reglamentaciones y normas existentes en el ámbito internacional definen principalmente, la forma de determinar propiedades acústicas de los materiales así como la metodología para medir los niveles sonoros producidos por los vehículos. El ruido acústico es considerado como uno de los principales agentes contaminantes, algo que las autoridades europeas han puesto claramente sobre la mesa a partir de la Directiva 2002/49/CE que supone un antes y un después en la lucha contra este agente.

Este tipo de proyectos nacen con el propósito de focalizar situaciones particulares dentro de un conjunto de mayor entidad, definido en la citada directiva como aglomeración. La primera fase comienza con la selección de la ubicación de las estaciones sonométricas fijas que durante diez días van a realizar medidas de distintos parámetros acústicos la veinticuatro horas al día. Estas medidas han sido complementadas con otras realizadas en las proximidades de los focos sonoros (autovías y vías cercanas a la urbanización), realizadas con una estación sonométrica móvil. Tras la obtención de los datos de campo se ha procedido a realizar un análisis detallado de los mismos.

**Palabras claves:** calidad ambiental, contaminación acústica, mapas de ruido

## 1. Introducción

El concepto de gran ciudad y el de tráfico urbano van estrechamente ligados. Esto es en parte debido a la falta de adecuación de la ciudad a las necesidades de los ciudadanos, ya que la movilidad de las ciudades hoy en día es muy diferente a la que existía en el momento que fue concebida su distribución urbanística [PERE89]. En el ámbito mundial, cada vez son más los países industrializados y en vías de desarrollo que han identificado la amenaza que el ruido representa en el bienestar humano, y en todo el medio ambiente.

El ruido producido por el tráfico rodado en las carreteras es un fenómeno complejo, esencialmente en razón de los efectos sensoriales que produce sobre los seres humanos, lo que explica la relatividad de ciertos componentes, así como el hecho de la dificultad de medirlo físicamente. Su intensidad varía con la distancia que separa la fuente del receptor y el contexto ambiental en el cual se propaga. La propagación del sonido depende fundamentalmente de la interacción entre tres factores, [SEGU02]:

- Los vehículos: tipo, número y velocidad.
- La estructura de la carretera: su concepción o diseño, construcción y materiales.
- El medio próximo al sistema carretera-entorno, sus componentes y receptores, las características de los edificios y el número de habitantes.

También hay que considerar que existen varios factores que ejercen influencia en la propagación del ruido:

- La distancia
- La absorción del aire
- La influencia de la temperatura y viento
- Efecto de suelo y la topografía
- Efecto de obstáculos (vegetación, barreras)

## 2. Ruido de tráfico

El estudio de la contaminación acústica producida por el tráfico rodado debe ser llevado a cabo desde dos puntos de vista diferentes. El primer punto de vista se centra en los vehículos aislados, como fuentes individuales y singulares de ruido, analizando con todo detalle sus características específicas en relación con la emisión de ruido que produce su funcionamiento normal. El segundo punto de vista contempla de una forma global a los vehículos que constituyen un determinado flujo de tráfico y, en consecuencia, se centra en las características de ese tráfico como un todo.

Cuando estudiamos el ruido producido por un vehículo aislado hay que tener en cuenta que, independientemente de su clase o modelo, un vehículo a motor no constituye una fuente única de ruido, sino que en él está presente un número bastante elevado de ellas. Dichas fuentes radican sobre todo en el motor, los dispositivos de admisión de aire y de expulsión de los gases de combustión, el sistema de transmisión (caja de cambios, ejes de tracción, etc.), la rodadura de los neumáticos sobre la superficie de la calzada, el sistema de frenos, y las vibraciones de la carrocería y/o de la carga transportada. En general, para velocidades bajas y potencias de motor elevadas (situación muy frecuente en el tráfico urbano), el ruido producido por el motor de los vehículos es predominante. En cambio, para velocidades altas y potencias del motor bajas (condiciones usuales en la circulación fluida por carretera), la contribución de la interacción entre los neumáticos y la

calzada es muy superior a la del resto del sistema móvil. Cuando la calzada presenta irregularidades manifiestas (adoquines, baches, etc.), el ruido originado por las vibraciones de la carrocería y, en su caso, la carga de los vehículos adquiere una importancia creciente, [COLO11]. El ruido de combustión está relacionado con los procesos que tienen lugar en la cámara de combustión del motor. Tras producirse la inyección del combustible en los cilindros del motor y mezclarse con aire a presión, tiene lugar su combustión, lo cual origina un aumento importante y brusco de la presión y la temperatura en estos recintos, produciéndose una brusca expansión. Como consecuencia de este proceso, la cabeza del cilindro, el pistón y el motor en su conjunto emiten un sonido cuyo espectro se caracteriza por la presencia de una frecuencia fundamental y un elevado número de armónicos, cuyos niveles sonoros decrecen al aumentar la frecuencia.

Por otra parte, el ruido mecánico tiene varias fuentes, tales como los golpes de los pistones contra la pared de los cilindros, el sistema de distribución, debido al impacto de los dientes de los engranajes o al ruido de la correa de distribución, los impactos de los cojinetes contra el cigüeñal, o los choques de las válvulas sobre sus asientos, entre otros.

### **3. Estudio de campo. Descripción y características de la zona**

Los estudios de campo en el ámbito acústico por lo general tienen el objeto de comprobar el impacto acústico de carreteras, puertos, aeropuertos y en general actividades susceptibles de producir molestias por contaminación acústica. Por tanto, permiten atender aquellas situaciones puntuales que aparecen bien por quejas de la comunidad o bien como resultado de estudios anteriores, como por ejemplo los mapas estratégicos de ruido resultantes de la aplicación de la Ley del Ruido, [ASPU06]. En general con ellos se persigue predecir o en su caso establecer el grado de contaminación acústica que una determinada actividad o actuación, supone o puede suponer. Ya sea para prever la aplicación de medidas correctoras como para cuantificar la inclusión o modificación de un determinado foco de ruido. Además, la complementariedad entre medidas de campo y simulaciones, en sus justas dosis, constituyen la base de una actuación exitosa.

La urbanización objeto de este estudio, Urbanización La Guillena, se encuentra ubicada en la isla de Gran Canaria, concretamente al nordeste de la isla de Gran Canaria, en el distrito VIII de la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria (ver Figura 1 (a) y (b)). Se trata de una zona del extrarradio de la citada ciudad con una elevada densidad de población. Este hecho es el resultado de la profusión de asentamientos urbanos que entre 1950 y 1990 se fueron creando como consecuencia de la emigración insular e interinsular hacia la capital de Gran Canaria. En la actualidad la zona se configura como un conjunto de populosos barrios con edificaciones que van desde bloques de viviendas, dúplex adosados y viviendas de una o varias plantas.

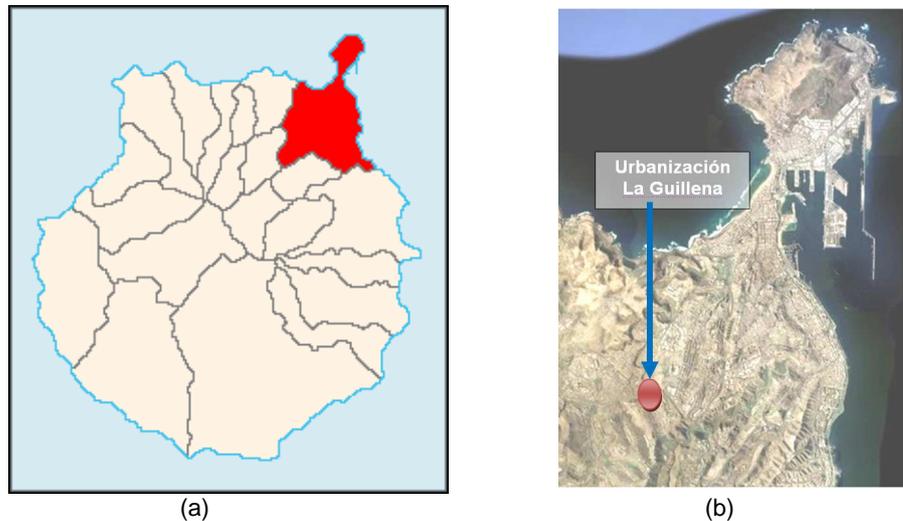


Figura 1: (a) Situación del municipio de Las Palmas de Gran Canaria en la isla de Gran Canaria. Fuente: Wikipedia y (b) Urbanización La Guillena dentro del municipio de Las Palmas de Gran Canaria. Fuente: Google maps con elaboración propia.

Las vías que trazan la urbanización se encuentran orientadas al norte, mientras que las viviendas están dispuestas de manera que apuntan unas hacia el este y otras al oeste. La urbanización se asienta en un pequeño valle en pendiente rodeado de algunas elevaciones del terreno que la protegen hacia el este y el oeste (Figura 2(a) y 2(b)).



Figura 2: (a) Vista desde la elevación situada al este de la urbanización y (b) vista de la elevación al oeste de la urbanización. Fuente: Google maps con elaboración propia.

La elevación que la protege hacia el este se eleva con cierta suavidad, mientras que la que encontramos hacia el oeste lo hace de manera más abrupta adoptando la apariencia de un muro vertical. Esto es consecuencia del corte efectuado sobre la montaña que allí existía para dar cabida a parte de la urbanización. También es de destacar que entre su acceso principal y el extremo contrario la urbanización presenta un desnivel de unos 18 m (Figura 3).



Figura 3: Límites de la urbanización La Guillena, la flecha indica el acceso principal.  
Fuente: Google maps con elaboración propia.

Como se puede observar en la figura anterior la urbanización se compone de viviendas unifamiliares de tipo dúplex adosados de dos plantas, se trata de una zona residencial de primera vivienda. La urbanización la integran un total 180 dúplex repartidos a lo largo de tres calles, con una población estimada de unas 500 personas. Los vientos en esta zona por lo general alcanzan poca intensidad, por la protección de la isla en este sector, siendo ésta mayor durante los meses de invierno y primavera. Existe una clara predominancia de los vientos del NO y, en segundo término de NE. Concretamente en la ciudad de Las Palmas de Gran Canaria el viento predominante la mayor parte del año es de dirección norte-sur, rolando entre las direcciones NNE-SSO (nornordeste a sursudoeste) y NNO-SSE (nornoroeste a sudsudeste). La urbanización se encuentra abierta al norte, de forma que el viento la recorre desde su entrada al final.

En las proximidades de la urbanización podemos encontrar varias vías de distinta categoría (Figura 4). Hay una vía rápida, la autovía GC-3, y dos vías interurbanas la GC-340 y la GC-300. Además de los accesos a la urbanización que parten desde la rotonda que distribuye y donde confluyen la GC-340 y GC-300.



Figura 4: Ubicación de la autovía y las vías interurbanas respecto a la urbanización La Guillena.  
Fuente: Google maps con elaboración propia.

Las citadas vías tienen una serie de características propias que conviene citar:

- **Autovía GC-3:** Vía rápida con tráfico de todo tipo de vehículos, ligeros y pesados. Bidireccional con tres carriles en un sentido y cuatro en el otro (acceso a zona comercial de Siete Palmas, en pendiente, curvada y con peralte. Está a unos 100 m del acceso a la urbanización y se encuentra elevada sobre la parte inicial de la urbanización.
- **Interurbana GC-340:** Vía urbana de conexiones interiores (barrios del entorno) y de acceso a dos urbanizaciones industriales (Las Torres y Díaz Casanova). Vía bidireccional, sólo un carril para cada sentido, en pendiente. Se encuentra a menos de 30 m de la entrada a la urbanización.
- **Interurbana GC-300 :** Vía urbana de conexiones interiores (barrios del entorno) y en parte acceso a las urbanizaciones industriales (al menos como acceso origen), también permite el acceso a la zona comercial de un barrio cercano llamado Siete Palmas. Es una vía bidireccional, un carril en cada sentido, en pendiente. La encontramos a menos de 35 m de la entrada a la urbanización. Su trazado hace que bordee en ascenso a la parte este de la urbanización.

#### 4 Objetivos del estudio

La población de la citada urbanización a través de la asociación de vecinos y los cauces abiertos para ello con las distintas administraciones públicas (Ayuntamiento, Cabildo y Gobierno Autónomo), han venido denunciando el exceso de nivel de ruido ambiente debido al tráfico de vehículos, que ellos achacan a una vía rápida cercana la GC-3. Es conveniente indicar que la autovía es responsabilidad del gobierno autónomo mientras

que las otras dos vías interurbanas lo son del Cabildo de Gran Canaria. En base a lo indicado el estudio que aquí se acomete tiene los siguientes objetivos:

- 1) Determinar los niveles de recepción en el medio exterior de la Urbanización La Guillena, calculando los índices de ruido por día y por periodo.
- 2) Estimar la procedencia de la contribución principal a los niveles de ruido hallados.
- 3) Simular la efectividad de una barrera acústica ubicada en la autovía GC-3.
- 4) Establecer las valoraciones y conclusiones oportunas.

## 5 Sistema experimental y procedimiento de medida

En este apartado se detallan los medios que se han requerido para la realización del presente trabajo, aunque no se incluyen todas las especificaciones técnicas. El sonómetro es el instrumento utilizado para captar los Niveles de Presión Sonora en las distintas medidas tomadas. En este trabajo se ha usado un sonómetro Rion NL.18 con las siguientes especificaciones técnicas.

- Micrófono preamplificador: La unidad empleada es un micrófono de condensador prepolarizado de ½ pulgada
  - Micrófono: UC-53<sup>a</sup>
  - Preamplificador: NH-19
- Oscilador de calibración: Este circuito suministra la señal senoidal de 1000Hz usada para la calibración electrónica.
- Atenuador: Atenúa la señal del preamplificador acorde al rango de nivel seleccionado.
- Amplificador: La amplificación de la señal se activa acorde al nivel de rango seleccionado. El amplificador 2 sirve para la calibración. El amplificador 5 es controlado por la CPU para asegurar que la ganancia del canal principal y del sub-canal sean iguales.
- Red de Ponderación de frecuencia: Esta red contiene filtros que proveen de ponderación tipo A, C o plano.
- Detector de sobrecarga: Monitorea la forma de onda de la señal a puntos variables del circuito.
- Detector RMS: La verdadera detección RMS y compresión logarítmica están realizadas en la señal AC, resultando el nivel convertido de la señal DC. Las siguientes selecciones de constante de tiempo (ponderaciones de tiempo) están disponibles.
  - Canal Principal: Fast, Slow, 10ms
  - Sub-canal: Fast, Slow, 10ms, Imp(impulsivo), Peak(mantiene el pico)
- Amplificador DC: Ajusta el nivel antes de la conversión Analógica/Digital.
- Detector Impulse/Peak: Sirve para mantener la detección impulsiva y de pico (en sub-canal solamente)
- CPU, conversor A/D, RAM: El nivel convertido de señal DC es convertido a señal digital por el conversor A/D. La CPU y la RAM son usadas para descargar las variables procesándose en las funciones.
- Reloj: Provee información de fecha y hora.
- Selector de banda I/O: Controla el centro de selección de frecuencia cuando el filtro unidad es usado.
- Grabador síncrono de nivel de señal I/O: Realiza funciones de control cuando el análisis de frecuencia sincronizado con el filtro unidad y el nivel de grabado se llevan a cabo.

- Interfaz serie: Controla la interfaz RS-232C para el intercambio de datos con un ordenador
- Driver LCD, LCD: El display 1 muestra los niveles de ruido, parámetros de medida y procesamiento de resultados. El display 2 muestra los cambios de nivel de ruido en el tiempo, y también es usado para mostrar las pantallas del menú para la configuración de parámetros y el gráfico de análisis en frecuencia.
- Fuente de alimentación: El voltaje de la batería o el adaptador AC es alimentado a un convertor DC-DC que provee los voltajes requeridos por las distintas secciones.

En la utilización del sonómetro se ha usado una pantalla anti-viento que disminuye el efecto del viento en la medida. Esta pantalla tiene forma de esfera porosa.

Diagrama direccional del micrófono: Las características direccionales de un micrófono es una medida de su diferencia de sensibilidad para las ondas sonoras captadas desde varios ángulos. El micrófono de condensador prepolarizado usado en el NL-18 es de tipo sensibilidad por presión, y debería ser de igual sensibilidad en todas las direcciones. Sin embargo, las refracciones y los efectos de la cavidad causan tales características direccionales del micrófono a altas frecuencias. El diagrama mostrado en la Figura 5 muestra las características direccionales del micrófono UC-53A.

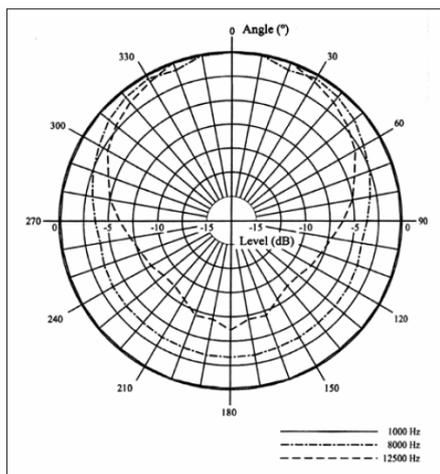


Figura 5: Diagrama direccional del micrófono UC-53<sup>a</sup>

El calibrador acústico es un aparato que emite un sonido con un Nivel de Presión Sonora predeterminado (generalmente 94dB) y a una frecuencia específica (1 kHz). Las normas exigen una calibración acústica antes y después de cada medida para que esta se considere como válida. En este estudio se ha usado el calibrador CAL01 con las siguientes características técnicas.

- Calibrador sonoro Clase 1L según EN 60942: 1998.
- Cumple con la normativa vigente sobre Metrología legal(29/12/98)
- Frecuencia de calibración: 1kHz
- Dispone de Nivel de Presión Sonoro de 94dB con posibilidad de cambiar a 104dB y 74dB mediante el selector de +-20dB
- Permite calibrar micrófonos de 1/2"

Un DAT (DIGITAL AUDIO TAPE-Recorder) es un casete portátil que permite grabar y reproducir señales sonoras de alta calidad y con gran precisión. Utiliza unas cintas de audio digital en las que se registra el sonido para su posterior tratamiento. EL DAT usado en el presente trabajo es un portátil Tapa Recorder Tascam DA-P1.

La cámara de fotos digital se utilizó para la toma de fotografías a las distintas configuraciones de las estaciones base. El modelo utilizado fue el Pentax Optio S, con las siguientes especificaciones técnicas. Para la realización de las medidas, el conexionado entre aparatos y la transferencia de datos hacia el ordenador se han usado diversos cables y accesorios.

### **Procedimiento de medida**

Los procedimientos empleados en las medidas de campo deben obedecer a varios factores. En primer lugar tenemos los objetivos, establecidos en el epígrafe anterior, que básicamente acotan el problema que se quiere estudiar, por ejemplo un objetivo fundamental es discernir la procedencia del problema de contaminación acústica, por lo que habrá que planificar la distribución del sistema de medida en las localizaciones más adecuadas. En segundo lugar y acogidos a la legislación aplicable se deben seguir y cumplir todas las indicaciones sobre la puesta en estación del sistema de medida, así como todo lo relativo a los índices sonométricos establecidos en la normativa como necesarios para el posterior análisis y evaluación de la situación. En tercer lugar es conveniente recabar otros datos acústicos mediante la práctica de mediciones puntuales y específicas que sirvan para aclarar determinados hechos que quizás puedan pasar desapercibidos en las mediciones regulares, por ejemplo la obtención de espectros sonométricos, que estrictamente no son necesarios para cumplir la medida de los índices usados en la determinación de la contaminación acústica, pero que si pueden arrojar luz sobre determinados detalles propios de la situación bajo estudio y que un técnico conocedor de la acústica puede interpretar en su justa medida.

Los resultados si se han seguido los procedimientos técnicos adecuados deben reflejar objetivamente la situación. La realización sobre ellos de análisis complementarios adecuados, ya sea mediante el empleo de estimadores estadísticos básicos o mediante representaciones gráficas nos permitan "ver" más claramente lo que los resultados nos quieren mostrar. Cobra especial importancia la elección y aplicación de las herramientas matemáticas y gráficas adecuadas a un conjunto de datos de alta densidad, como es el caso resultante de haber realizado medidas de múltiples parámetros durante un número elevado de horas.

Para tener un conocimiento de la situación, ambiente acústico provocado por las vías GC-3, GC-300 y GC-340 se instalaron un serie de estaciones sonométricas fijas.

Para la elección de la ubicación de las estaciones se ha utilizado el protocolo recogido en la Tabla 1.

Tabla 1 Protocolo para la selección de las estaciones de medida.

<p><b>1. Condiciones de Medida:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Efecto pantalla (evitar grandes superficies que tapen la visión o que puedan reflejar el sonido en la dirección del equipo de medida).</li> <li>b. Separación del suelo y paredes próximas (mínimo 1,5 m en cada caso).</li> <li>c. Evitar proximidad de bidones de agua de abasto (fuente de ruido cuando se llenan).</li> <li>d. En la medida de lo posible buscar lugares resguardados del viento dominante.</li> </ul>
<p><b>2. Infraestructuras Básicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Buscar ubicaciones protegidas y seguras para el equipamiento (acceso controlado).</li> <li>b. Toma de Corriente y estabilidad de la misma (posibilidad de interrupción).</li> <li>c. Necesidad de Cerramiento de intemperie para el instrumento de medida, a no más de 8 o 10 metros de la posición del micrófono. A la intemperie sólo quedaría el micrófono y el trípode o mástil que lo soporta.</li> <li>d. Buscar ubicaciones protegidas y seguras para el equipamiento (acceso controlado).</li> <li>e. Acceso sin restricción horaria a la instrumentación entre las 07:00 y las 22:00 horas, se entiende que para el personal del proyecto.</li> </ul>
<p><b>3. Ruidos del Entorno. Situaciones a evitar:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Animales domésticos próximos.</li> <li>b. Actividades domésticas próximas: Lavadoras, equipos de música, etc.</li> <li>c. Fiestas locales (sociedades de vecinos, megafonía, etc.).</li> <li>d. Actividades Industriales en las proximidades.</li> <li>e. Otras fuentes de ruido: Condensadoras de aire acondicionado, extractores, máquinas, etc.</li> </ul>

Apoyados en el protocolo anterior, se realizó una visita a la urbanización en compañía de directivos de la comunidad de propietarios de la urbanización. Después de ver las distintas opciones se decidió utilizar las viviendas situadas en el número 2A de la calle Plutón, nº 2 de la calle Neptuno y nº 2 de la calle Júpiter (ver Figura 6). De todas ellas se aprecia directamente la distintas vías, aunque la situada en la calle Júpiter se encuentra algo más apantallada respecto de la GC-300.

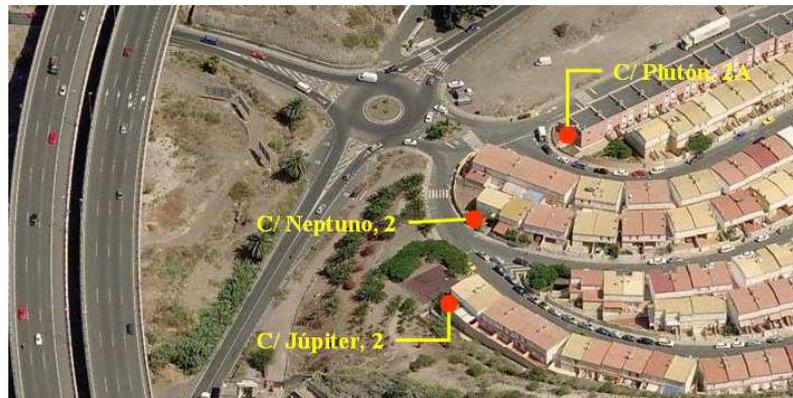


Figura 6: Ubicación de las estaciones fijas en la Urbanización La Guillena.  
Fuente: Elaboración propia.

La vivienda de la calle Plutón es la más expuesta al ruido procedente de la rotonda en la que confluyen la GC-300 y la GC-340, con tendencia hacia la GC-340.

Las medidas sonométricas fueron realizadas desde las 19:00 horas de un viernes 7 de noviembre a las 19:00 horas de un lunes 17 de noviembre, lo que eleva la duración de las medidas a un total de diez días, que en horas serían un total de 2400 horas. Para ver con detalle cómo influyen las diferentes variables en el ruido debido al tráfico urbano en una gran ciudad se puede ver por ejemplo la referencia [MORA09].

Como ya se ha dicho para la realización de estas medidas se instalaron estaciones sonométricas fijas, adaptadas para el medio exterior. Las estaciones están capacitadas para la toma continua de datos sonométricos, dependiendo la capacidad en horas de almacenamiento del periodo de muestreo elegido. En nuestro caso se ha elegido un periodo de muestreo de un minuto de manera que cada minuto en cada estación de medidas se almacenan los índices sonométricos, que pasamos a nombrar a continuación, tal y como abreviadamente aparecen en la extracción de datos: "Leq" (nivel continuo equivalente), "Le" (nivel de exposición), "Lmax" (nivel máximo), "Lmin" (nivel mínimo), "L10" (nivel percentil 10), "L1" (nivel percentil 1), "L50" (nivel percentil 50), "L90" (nivel percentil 90) y "L99" (nivel percentil 99). De entre todos ellos para nuestro estudio vamos a usar únicamente el parámetro "Leq" ya que es el contemplado en la Ley del Ruido para los estudios de contaminación acústica por ruido de tráfico y por ende en las ordenanzas municipales. Para la medición de estos parámetros en las estaciones de medida se ha elegido ponderación A, como método de ponderación en frecuencia, y la constante de integración "Fast" (tiempo de integración de 125 ms) para la ponderación temporal.

También se realizaron medidas de campo puntuales en las proximidades de la GC-3 (Figura 7 (a)) y en la cercanía de la rotonda donde confluyen las carreteras GC-300 y GC-340 (Figura 7 (b)) estas medidas se llevaron a cabo con un instrumento sonométrico con capacidad de análisis espectral, BK 2260.

En todos los casos estaciones fijas y estaciones móviles se procedió a la realización de calibración antes y después de las mediciones, para este cometido usamos el calibrador BK 4231.



Figura 7: (a) Medidas en las proximidades de la GC-3 y (b) en las proximidades de las carreteras GC-300 y GC-340. Fuente: Elaboración propia.

Todos los instrumentos empleados en las mediciones han superado las pruebas de calibración y verificación periódica anuales. Para la simulación de los efectos de la instalación de una barrera acústica en los márgenes de la GC-3, se utilizaron los modelos propuestos en la Ley del Ruido (ISO 9613-2, para los cálculos de propagación y para el Ruido del tráfico rodado: el método nacional de cálculo francés NMPB-Routes-96. Estos modelos, al no disponer de un software específico para esta tarea, fueron programados en un entorno de programación Matlab 7.0. La simulación se ha efectuado para el caso peor, periodo día y en el horario del día de la semana de mayor flujo de vehículos, en la certeza de que si los resultados son adecuados a los objetivos que se reflejan en los decretos que desarrollan la Ley del Ruido, lo serán para cualquiera de los periodos del día y para cualquier día y hora de la semana. Además, los resultados previos de la simulación sin la inclusión de la barrera fueron cotejados con los obtenidos en campo, a fin de calibrar los resultados de la simulación. En cualquier caso la desviación fue inferior a  $\pm 2$  dB, lo que entendemos puede servir como validación de la solución adoptada para el estudio sobre la inclusión de una barrera en la GC-3.

## 6. Resultados.

Hemos dividido su presentación en una serie tres subapartados en función de la tipología del resultado y el formato de su presentación: Resultados para el  $L_{DEN}$ , Histogramas de Niveles, Niveles Espectrales y Resultados de la Simulación.

### 6.1 Resultados para los diferentes índices.

A continuación se presentan de manera resumida los resultados obtenidos. En primer lugar presentamos un resumen de los datos recogidos en la estación de la calle Plutón, 2ª, Tabla 2.

Tabla 2: Resultados de los índices exigidos en la Ley del Ruido para la estación de la calle Plutón, nº 2A. Con (\*) indicamos mediciones no completas en el periodo correspondiente.

	Ln	Ld	Le	Lden
<b>viernes 7</b>		<b>46,5 (*)</b>	<b>62,5</b>	<b>59,9 (*)</b>
<b>sábado 8</b>	<b>55,6</b>	<b>62,3</b>	<b>61,9</b>	<b>64,6</b>
<b>domingo 9</b>	<b>55,1</b>	<b>60,0</b>	<b>63,5</b>	<b>64,4</b>
<b>lunes 10</b>	<b>55,4</b>	<b>63,9</b>	<b>60,7</b>	<b>64,8</b>
<b>martes 11</b>	<b>56,4</b>	<b>64,1</b>	<b>62,0</b>	<b>65,5</b>
<b>miércoles 12</b>	<b>56,5</b>	<b>64,8</b>	<b>60,0</b>	<b>65,5</b>
<b>jueves 13</b>	<b>57,5</b>	<b>65,7</b>	<b>62,5</b>	<b>66,7</b>
<b>viernes 14</b>	<b>56,6</b>	<b>65,7</b>	<b>62,7</b>	<b>66,4</b>
<b>sábado 15</b>	<b>55,3</b>	<b>63,2</b>	<b>61,2</b>	<b>64,6</b>
<b>domingo 16</b>	<b>55,6</b>	<b>61,0</b>	<b>60,6</b>	<b>63,9</b>
<b>lunes 17</b>	<b>56,4</b>	<b>65,2</b>	<b>53,8 (*)</b>	<b>65,1</b>

En la anterior Tabla, los índices cuyos valores numéricos se aportan para cada día son: Ln que corresponde a los niveles del periodo noche (23:00 a 07:00 h), Ld corresponde al periodo día (07:00 a 19:00 h), Le al periodo de tarde (19:00 a 23:00 h) y por último Lden que corresponden al día al completo incluyendo ponderadamente todos los anteriores según se establece en la Ley del Ruido. Para una mayor legibilidad de los mismos en la Figura 8 los podemos ver en forma gráfica. Los datos obtenidos en viernes 7 (comienzo de las medidas) y lunes 17 (final de las medidas), no se podrán tener en cuenta en sus periodos iniciales, Ld para el viernes 7 y Le para el lunes 17, ya que las medidas no cubrieron todo el periodo horario que debe considerarse, según la definición de dichos índices recogida en la Ley del Ruido.

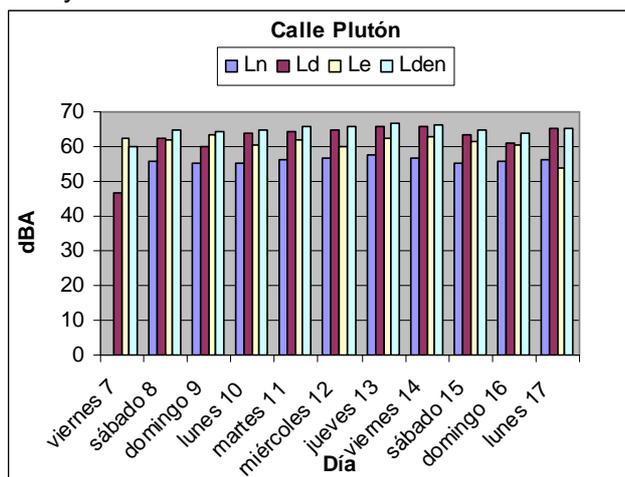


Figura 8: Presentación gráfica de la evolución diaria de los índices de ruido en la estación calle Plutón, nº 2A.

Una característica de los niveles obtenidos que destaca en cada uno de los índices es la poca diferencia de los niveles encontrados. Se observa que para Ln los valores están entre 55,1 dB(A) y 57,5 dB(A), 2,4 dB de diferencia. Para el índice Ld el mínimo es de 60,0 dB(A) y el máximo de 65,7 dB(A), alcanzándose una diferencia de 5,7 dB. En el periodo de tarde el índice es el Le, aquí el valor más bajo es de 60,0 dB(A) y el más alto 63,5 dB(A) por lo que la diferencia y por tanto la dinámica de variación es de 3,5 dB.

En la Tabla 3, se muestran los índices obtenidos a partir de los datos sonométricos recogidos en la estación de la calle Jupiter nº 2.

Tabla 3: Resultados de los índices exigidos en la Ley del Ruido para la estación de la calle Júpiter, nº 2. Con (\*) indicamos mediciones no completas en el periodo correspondiente.

	<b>Ln</b>	<b>Ld</b>	<b>Le</b>	<b>Lden</b>
<b>viernes 7</b>			<b>64,4</b>	<b>61,6 (*)</b>
<b>sábado 8</b>	<b>57,8</b>	<b>63,0</b>	<b>62,9</b>	<b>66,0</b>
<b>domingo 9</b>	<b>56,9</b>	<b>60,3</b>	<b>61,7</b>	<b>64,7</b>
<b>lunes 10</b>	<b>56,5</b>	<b>63,0</b>	<b>60,3</b>	<b>64,8</b>
<b>martes 11</b>	<b>56,5</b>	<b>63,2</b>	<b>61,7</b>	<b>65,2</b>
<b>miércoles 12</b>	<b>58,0</b>	<b>65,0</b>	<b>62,7</b>	<b>66,7</b>
<b>jueves 13</b>	<b>58,5</b>	<b>65,6</b>	<b>63,7</b>	<b>67,3</b>
<b>viernes 14</b>	<b>58,4</b>	<b>65,1</b>	<b>64,3</b>	<b>67,3</b>
<b>sábado 15</b>	<b>57,9</b>	<b>63,4</b>	<b>63,0</b>	<b>66,3</b>
<b>domingo 16</b>	<b>57,6</b>	<b>60,8</b>	<b>62,7</b>	<b>65,5</b>
<b>lunes 17</b>	<b>58,1</b>	<b>65,4</b>	<b>56,4 (*)</b>	<b>66,2</b>

Si realizamos un análisis previo de la dinámica para cada uno de los índices obtendríamos que para el Ln la diferencia entre el máximo y el mínimo es de sólo 2 dB, siendo los niveles en general algo más elevados que en la estación de la calle Plutón nº 2A. En el caso del índice Ld la diferencia es de 5,3 dB. La dinámica en el caso del índice Le es de 4,1 dB. En la Figura 9 podemos ver estos mismos resultados en forma gráfica, esta representación muestra más claramente las diferencias de niveles entre cada uno de los periodos, al tiempo que refleja niveles casi constantes para los periodos nocturno y de tarde.

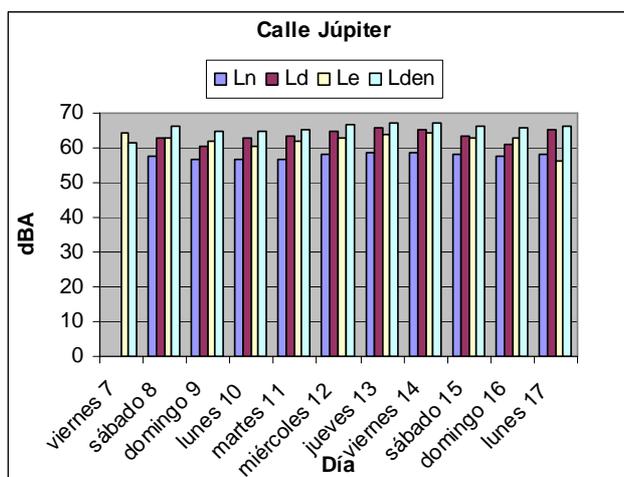


Figura 9: Presentación gráfica de la evolución diaria de los índices de ruido en la estación calle Júpiter, nº 2.

En la Tabla 4, podemos ver los resultados obtenidos a partir de los datos sonométricos captados en la estación de la calle Neptuno nº 2.

Tabla 4: Resultados de los índices exigidos en la Ley del Ruido para la estación de la calle Neptuno, nº 2. Con (\*) indicamos mediciones no completas en el periodo correspondiente.

	<b>Ln</b>	<b>Ld</b>	<b>Le</b>	<b>Lden</b>
<b>viernes 7</b>		<b>59,0(*)</b>	<b>66,2</b>	<b>64,1(*)</b>
<b>sábado 8</b>	<b>58,4</b>	<b>64,5</b>	<b>63,1</b>	<b>66,8</b>
<b>domingo 9</b>	<b>62,8</b>	<b>66,5</b>	<b>62,3</b>	<b>69,8</b>
<b>lunes 10</b>	<b>58,8</b>	<b>64,1</b>	<b>61,1</b>	<b>66,5</b>
<b>martes 11</b>	<b>57,0</b>	<b>61,0</b>	<b>59,2</b>	<b>64,4</b>
<b>miércoles 12</b>	<b>62,7</b>	<b>65,7</b>	<b>64,1</b>	<b>69,7</b>
<b>jueves 13</b>	<b>59,8</b>	<b>67,3</b>	<b>64,3</b>	<b>68,6</b>
<b>viernes 14</b>	<b>59,3</b>	<b>66,8</b>	<b>64,3</b>	<b>68,2</b>
<b>sábado 15</b>	<b>57,5</b>	<b>63,9</b>	<b>63,1</b>	<b>66,2</b>
<b>domingo 16</b>	<b>57,7</b>	<b>60,3</b>	<b>61,9</b>	<b>65,2</b>
<b>lunes 17</b>	<b>58,5</b>	<b>66,5</b>		<b>66,7(*)</b>

Respecto a esta estación en la Tabla hemos resaltado los resultados del domingo 9 y el miércoles 12 de noviembre como anormales, los mismos se deben a un conjunto de eventos particulares y puntuales ocurridos en el entorno de esa estación únicamente durante esos periodos, y por tanto no obedecen al tipo de eventos objeto de este informe, lo que invalida esos días en los periodos señalados, Ld y Ln, y por tanto también el valor global, Lden. Si obviamos los valores correspondientes a esos días; encontramos que la diferencia entre niveles extremos para el periodo noche es de 2,8 dB, mientras que para el periodo día alcanza los 7 dB, por último en el periodo de tarde tenemos 3,1dB. En la Figura 10 se muestra la representación gráfica de los resultados de esta tabla.

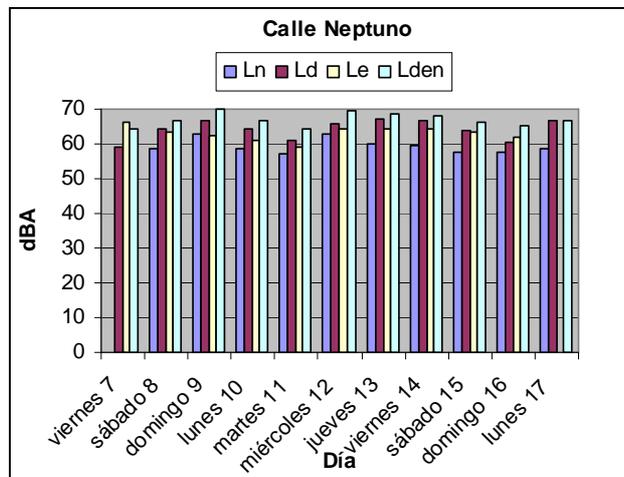


Figura 10: Presentación gráfica de la evolución diaria de los índices de ruido en la estación calle Neptuno, nº 2.

## 6.2. Histogramas de Niveles.

Con los resultados de las medidas también se ha realizado una representación mediante el uso de histogramas. Las funciones así representadas nos muestran la distribución de los niveles continuos equivalentes ponderados A,  $LeqA$ , a lo largo de los periodos horarios contemplados en la Ley del Ruido: Noche, Día y Tarde. Por tanto, lo que veremos en cada histograma es el número de veces que un determinado valor del  $LeqA$  de un minuto se produce. Por un lado se podrá observar con cierta claridad el valor medio y la dispersión de estos valores, al tiempo el histograma permitirá identificar modelos de comportamiento de los niveles sonoros en cada estación. Esto se ha hecho para cada una de las tres estaciones. Con la forma en que hemos recopilado los datos sonométricos, podríamos obtener modelos de distribución de niveles para prácticamente cualquier día de la semana lo que sería quizás excesivo para su posterior análisis, por eso hemos optado por agrupar sábados y domingos por un lado y el resto de días de la semana por otro.

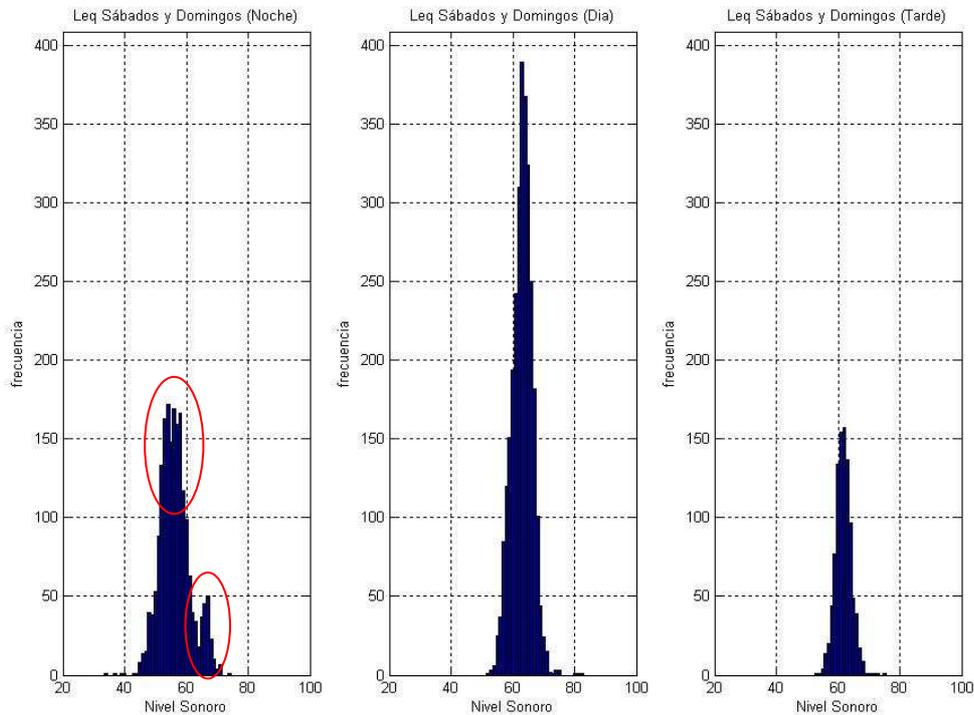


Figura 11: Histogramas de sábados y domingos para la estación de calle Neptuno, n<sup>o</sup>2 para los tres periodos horarios.

Para los periodos día y tarde el modelo de histograma sólo difiere en el número de eventos y en el valor medio, pero el perfil de ambos histogramas son prácticamente iguales. Sin embargo, el modelo encontrado en periodo noche, comprendido entre las 23:00 horas y las 07:00 horas es bastante distinto, presenta una forma más dispersa y lóbulos, tiende a presentar al menos dos modos (elipses sobre el histograma correspondiente). Es importante reseñar que mientras la cima más alta presenta un mayor número de eventos la más baja presenta un menor número de eventos, lo que nos hace pensar en un tipo de sucesos más local. Esto último podría entenderse como algo relacionado por ejemplo con el paso de vehículos procedentes de la zona de tipo algo más pesado, véase el mayor nivel sonoro de los registros. Para el agrupamiento de los lunes, martes, miércoles, jueves y viernes observamos resultados similares por periodo horario para las tres estaciones, un solo modo para el día y la tarde, y bimodal para el periodo nocturno. Para el grupo sábados y domingos, los resultados son iguales para las estaciones de las calles Júpiter y Plutón, mientras que para la estación de la calle Neptuno se constata un comportamiento algo diferente. En las siguientes figuras se muestra el resto de los histogramas.

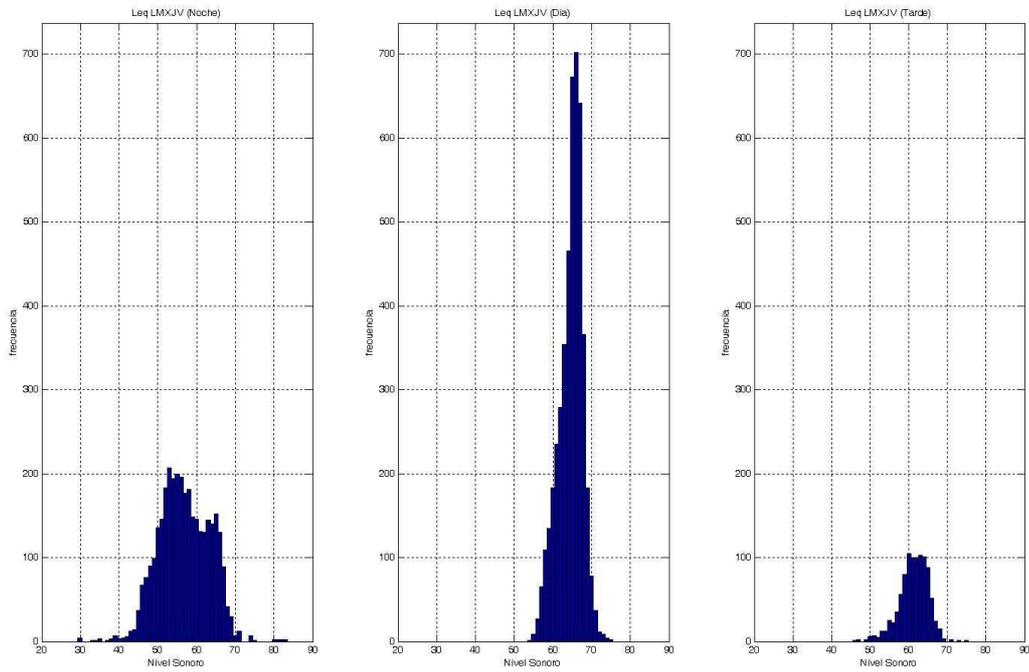


Figura 12: Histogramas del agrupamiento de lunes, martes, miércoles, jueves y viernes para estación de calle Neptuno, nº2 y cada periodo horario.

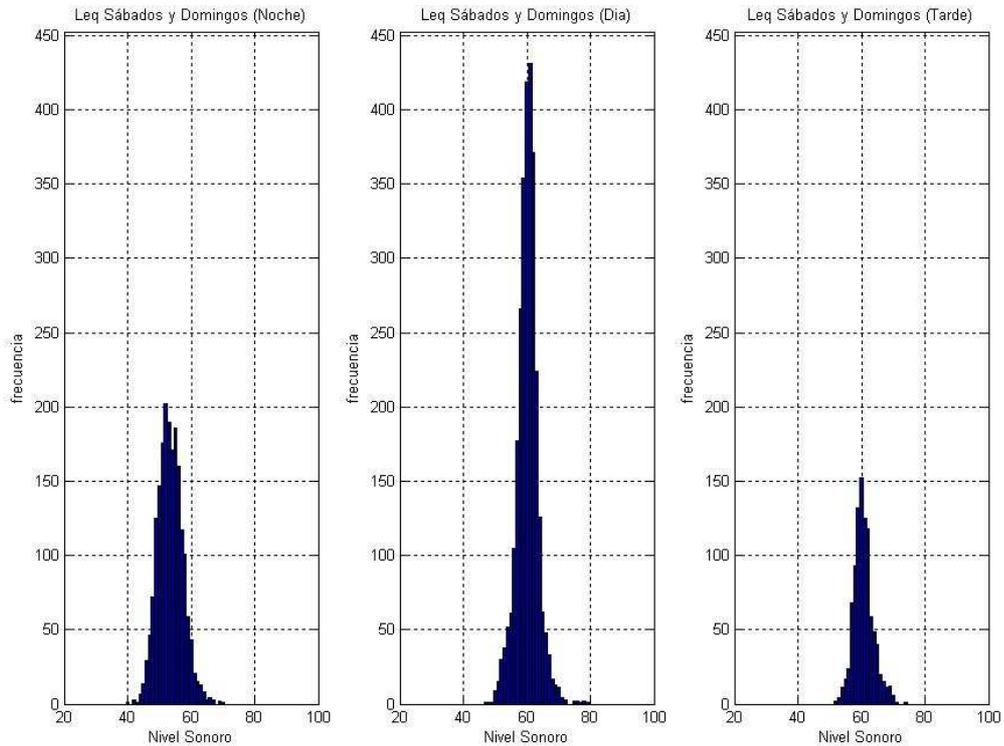


Figura 13: Histogramas de sábados y domingos para la estación de calle Plutón, nº 2A para los tres periodos horarios.

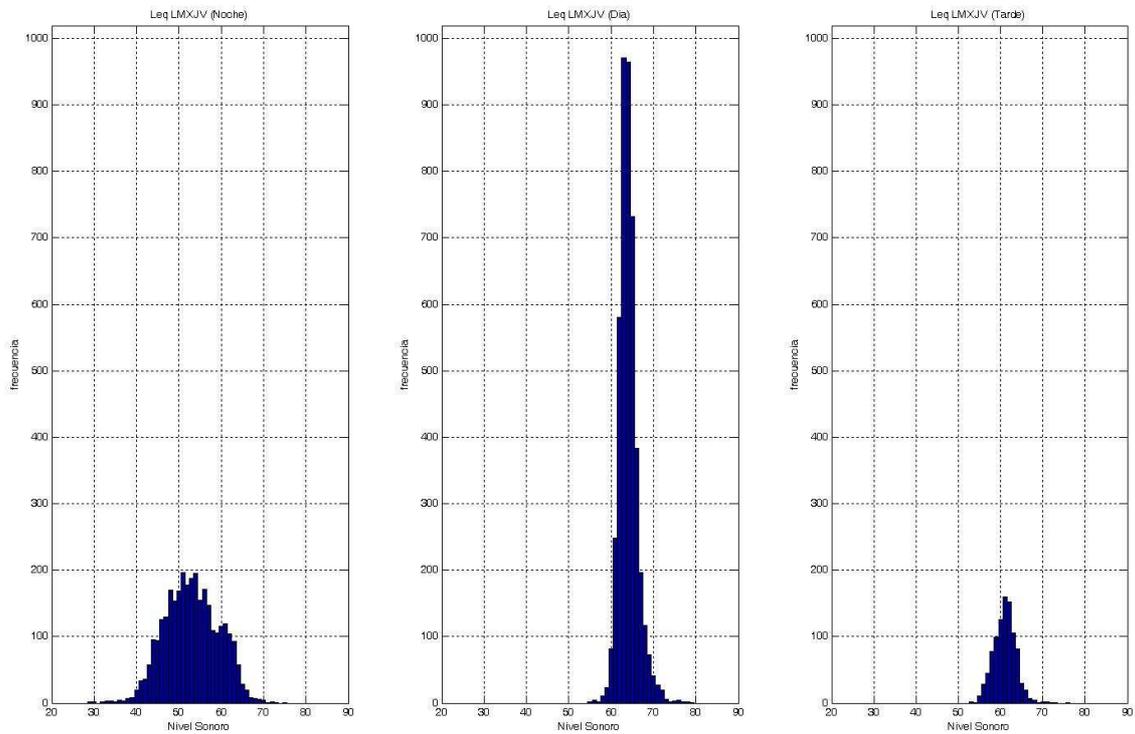


Figura 14: Histogramas del agrupamiento de lunes, martes, miércoles, jueves y viernes para estación de calle Plutón, n° 2A y cada periodo horario.

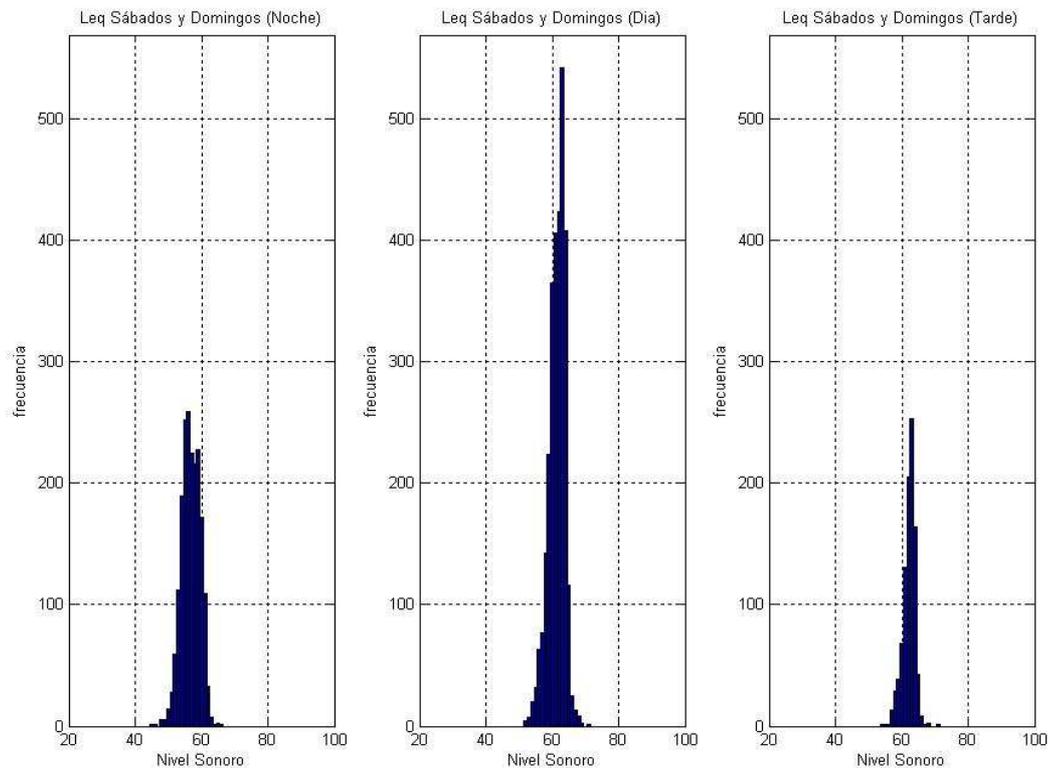


Figura 15: Histogramas de sábados y domingos para la estación de calle Júpiter, n° 2 para los tres periodos horarios.

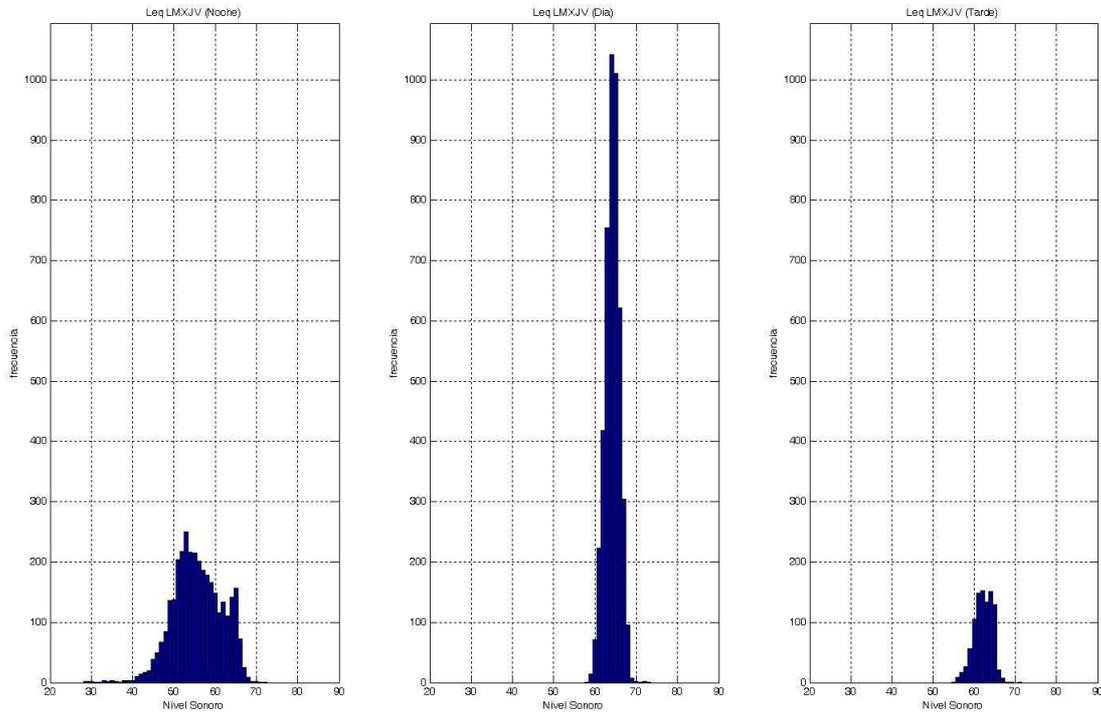


Figura 16: Histogramas del agrupamiento de lunes, martes, miércoles, jueves y viernes para estación de calle Júpiter, nº 2 y cada periodo horario.

## 6.2. Niveles espectrales.

Se realizaron medidas de los niveles producidos en las proximidades de los focos sonoros, rotonda de confluencia de las carreteras GC-300 y GC-340, así como en las proximidades de la GC-3, estas medidas fueron realizadas con un sonómetro-analizador de frecuencias convenientemente calibrado y montado en un trípode. El registro de datos fue realizado en día laboral durante el periodo diurno en horas de máximo aforo.

A partir de estas medidas se pudo conocer en detalle la distribución espectral de los dos focos principales de ruido de tráfico en la zona a estudio. En las mediciones ambos focos sonoros estaban en activo, es fácil entender que en general no es sencillo y en algunas circunstancias es imposible encontrar una situación que permita hacer una medida aislada de cada foco, diremos que son focos sonoros no controlables como lo podría ser una maquina de cualquier tipo. En este caso esto fue posible, tener una medida aislada con respecto al otro foco sonora, en las tomas sonométricas realizadas al pie de la GC-3, ya que el lugar elegido se encuentra muy próximo a la citada vía y el propio terreno nos apantalla respecto a la otras vía, GC-300 y GC-340, además este foco sonoro en sus proximidades es de un nivel lo suficientemente elevado como para enmascarar cualquier foco cercano. Sin embargo, no podemos decir lo mismo de las medidas puntuales a pie de la GC-300 y GC-340, ya que el ruido de la GC-3 era claramente perceptible y por tanto, aunque en la distancia, ha contribuido también al nivel de ruido medido en este caso.

La Figura 17 representa la distribución espectral del nivel potencia sonora ( $L_w$ ). Para ello hemos hecho uso de la siguiente expresión:

$$L_w = L_p + 20 \log_{10}(r) + 10 \log_{10}(4\pi) \quad (6-1)$$

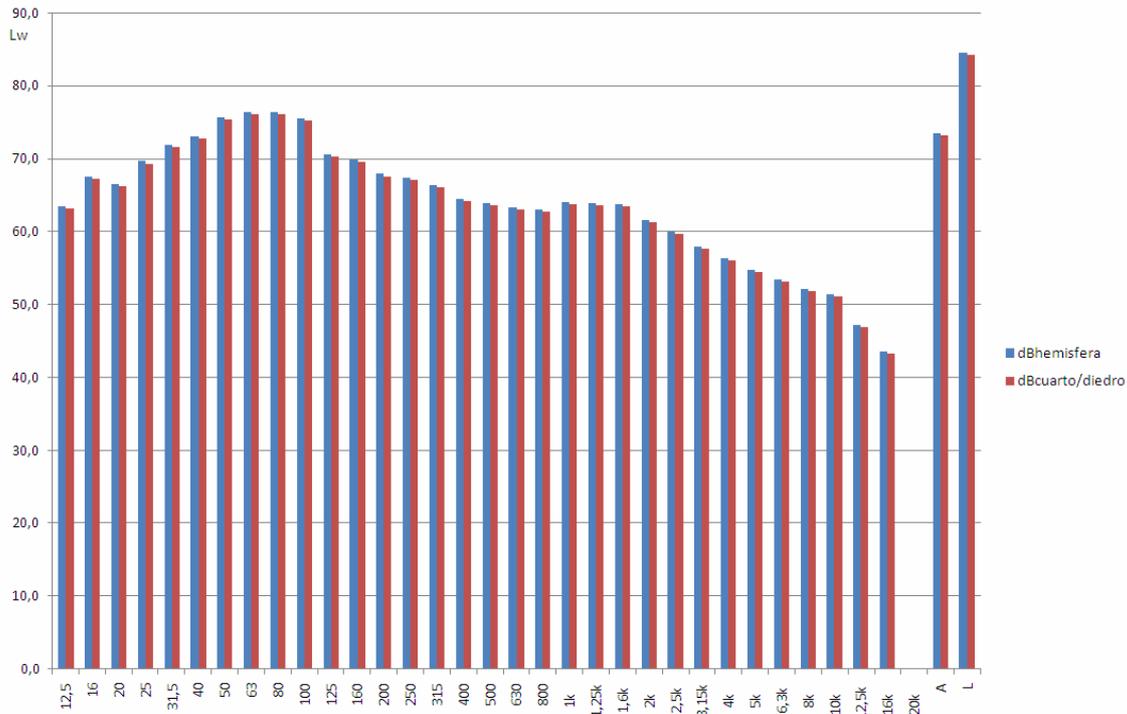


Figura 17: Distribución espectral de la potencia sonora en dB y niveles totales ponderados (A) y lineales (L) correspondientes a la medición realizada en la confluencia de la GC-300 con la GC-340.

Los datos de partida han sido la distancia a la vía ( $r$ ) y las medidas de presión sonora por tercios de octava,  $L_p$ , con ese conjunto de datos se han calculado los valores que se incorporan en la Figura. El espectro obtenido es un clásico para este tipo de vías, donde el ruido debido al motor, frecuencias entorno a los 63-80 Hz, se impone al debido a rodadura, frecuencias entorno a los 1200 Hz. Esta circunstancia se debe principalmente a que la velocidad de los vehículos en esta vía está comprendida entre los 40-60 km/h. También la presencia de la rotonda provoca paradas y arranques de vehículos, lo que contribuye a que el ruido de motor impere sobre el de rodadura.

En la Figura 18, se presenta el espectro de nivel de potencia sonora que hemos obtenido al promediar las medidas obtenidas junto a la GC-3. Observamos que ahora los niveles correspondientes al área espectral debida al ruido de motor y la debida al ruido de rodadura son prácticamente de igual magnitud. La razón de este comportamiento es típica de vías rápidas donde los vehículos circulan a velocidades elevadas, en este caso lo hacen entre 80 y 100 km/h, por lo que la energía debida al ruido de rodadura crece hasta hacerse comparable a la emitida por el motor.

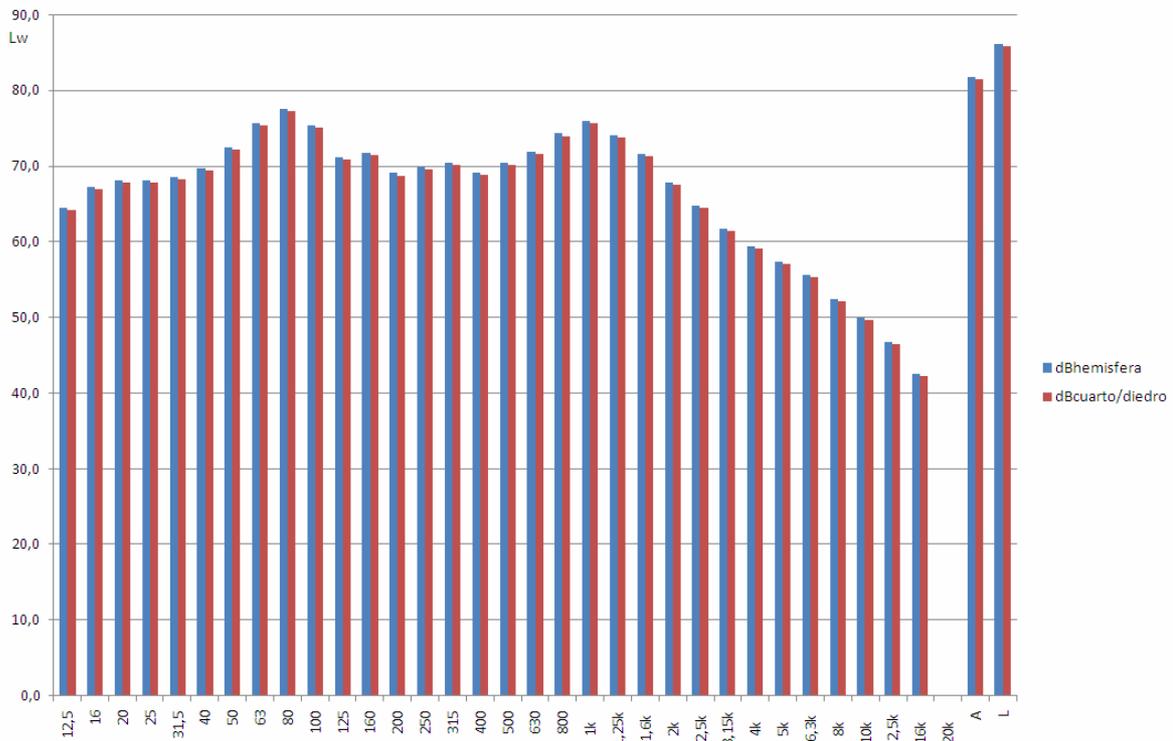


Figura 18: Distribución espectral de la potencia sonora en dB y niveles totales ponderados (A) y lineales (L) correspondientes a la medición realizada en las proximidades de la GC-3.

### 6.3 Resultados de la Simulación.

La parte final de este estudio consiste en la realización de simulaciones que permitan evaluar el impacto que sobre la contaminación acústica tendría la adopción de ciertas medidas correctoras, en concreto la introducción de barreras acústicas sencillas de distintas alturas. Se ha usado un entorno de programación, Matlab 7.0, donde se han programado los modelos proporcionados en la normas que se citan al efecto en la Ley del Ruido, esto es el modelo NMPB-Routes-96 (ecuación (6-2)) para la simulación del foco sonoro (tráfico) y el modelo recogido en la ISO 9613-2 para simulación de la propagación hasta la urbanización.

$$L_{Awi} = \left[ (E_L + 10 \log Q_L) + (E_P + 10 \log Q_P) \right] + 20 + 10 \log I_i + R \quad (6-2)$$

donde la potencia sonora se calcula en base a los siguientes datos: flujo de dos tipos de tráfico ( $L$  ligero y  $P$  pesado),  $Q_L$  y  $Q_P$ , velocidad ( $E_L$  y  $E_P$ ), longitud del tramo de carretera ( $I_i$ ) y espectro de ruido  $R$ .

Por parte del Cabildo de Gran Canaria se nos facilitó el aforo de la GC-3 durante los días de mayor afluencia de vehículos a lo largo de 24 horas, Figura 19. Con estos datos seleccionamos el caso peor, el de mayor aforo, sobre las 15:00 horas para proporcionar al programa los datos relativos al flujo para la simulación.

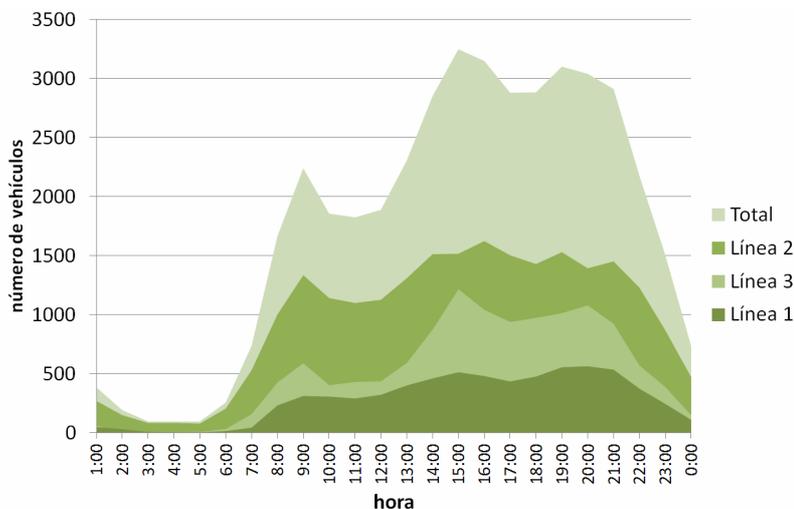


Figura 19: Paso total de vehículos y por carriles en la GC-3 durante las 24 horas del día de la semana de mayor tránsito.

Cada uno de los mapas de ruido obtenidos se acompaña de una barra de niveles realizada con los colores normalizados a los efectos de presentación de mapas de ruido en la UNE-ISO 1996-1. Es importante reseñar que los niveles obtenidos en la simulación están de 2 a 3 dB por debajo de los medidos en campo, esto independientemente del grado de precisión de la simulación, obedece en mayor medida al hecho de sólo contemplar los efectos de la GC-3 como único foco sonoro de interés. Sin embargo, sabemos que existe otro foco sonoro importante en la zona, la confluencia de las carreteras GC-300 y GC-340, que sumado con el de la GC-3 daría lugar a una elevación de los niveles más acordes con los niveles encontrados en las mediciones. Por tanto la Figura 20 nos muestra el resultado de la simulación supuesto que sólo la GC-3 estuviera afectando a la urbanización acústica.

Una vez que este modelo estuvo ajustado a los niveles medidos in-situ durante la campaña de 10 días de medida hemos procedido a simular la presencia de una barrera acústica que apantalle a la GC-3 con respecto a la urbanización. La barrera acústica considerada es una barrera sencilla que hemos programado según el modelo incluido en la norma ISO 9613-2, barrera en la que se considera que el ruido de tráfico sólo se difracta y no la atraviesa. Hemos considerado dos barreras de alturas 2 y 3 metros, los resultados de la simulación para la barrera de 2 m los tenemos en la Figura 21 mientras que los obtenidos con la barrera de 3 m están en la Figura 22.



Figura 20: Resultados de la simulación sin barrera para LeqA de una hora en el caso peor.



Figura 21: Resultados de la simulación con barrera de 2 metros de altura para LeqA de una hora en el caso peor.



Figura 22: Resultados de la simulación con barrera de 3 metros de altura para LeqA de una hora en el caso peor.

## 7. Evaluación de resultados y conclusiones

En base a los resultados obtenidos, los análisis realizados con los datos proporcionados por la campaña de medidas y las simulaciones efectuadas, vamos a proceder a la valoración de los mismos a la luz de la reglamentación de aplicación. En el Anexo II del REAL DECRETO 1513/2005 que reglamenta la Ley de Ruido se fijan los valores de los índices acústicos que no deben superarse para el cumplimiento de los objetivos de calidad acústica en áreas urbanizadas. Considerando tipo de área acústica a (sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial los valores son de 65, 65 y 55 para los índices Ld, Le y Ln, respectivamente. Los valores del índice Ln obtenidos superan el límite en las tres estaciones. Para el índice Ld el límite se supera en determinados días en varias de las estaciones (jueves y viernes en todas ellas), pero no estrictamente en el promedio semanal. Por último, para el índice Le no se supera el límite aunque sus valores están siempre por encima de los 60 dB. De la valoración realizada en el párrafo anterior, la conclusión es que se hace necesaria una actuación que limite la contaminación acústica que existe en la citada urbanización, que además incide principalmente sobre las horas de descanso. Por otro lado, aunque la campaña de medidas sólo ha contemplado 10 días de medidas lo reducido de la dinámica de variación de los niveles nos revelan que esta situación es invariable y el resultado final sería prácticamente el mismo si se tomaran medidas durante periodos más largos.

En este proyecto se ha determinado como fuente principal de contaminación acústica en la zona el debido al ruido de tráfico. En este sentido se han presentado las vías principales de la zona: GC-3, GC-300 y GC-340. De entre ellas se han hecho distinciones del tipo: GC-3 vía con más densidad de tráfico a todas horas y de mayor velocidad, mientras que las otras dos lo son de menor densidad y a la vez de menor velocidad.

Si observamos con detenimiento los histogramas recogidos en las figuras podríamos establecer las siguientes valoraciones:

- Los sábados y domingos se presenta un número de eventos menor que el resto de los días.
- Los histogramas del periodo Día presentan una distribución de niveles de gran semejanza, centrados alrededor de los 60 dB(A) durante sábados y domingos, y sobre los 65 dB(A) el resto de los días. Además, su perfil es estrecho evidenciando una varianza pequeña. Se entiende que esto se debe a que el foco de ruido que domina en ese periodo es el correspondiente a la GC-3, donde predomina un ruido más uniforme y constante como es el de rodadura.
- Los sábados y domingos se observa que los histogramas de la estación de la calle Júpiter, aunque presentan diferencias en el número de eventos, sus perfiles son muy semejantes indicando que sobre esta estación hay un dominio del foco sonoro que supone la GC-3. Las otras dos estaciones presentan algo similar, excepto en el periodo Noche donde aparece una varianza mayor.
- Para el resto de días de la semana (Lunes-Martes-Miércoles-Jueves-Viernes) la única diferencia apreciable corresponde al periodo Noche donde todas las estaciones reflejan una distribución de niveles diferenciada con una mayor dispersión y media más baja. Esto entendemos se debe a una mayor influencia del foco sonoro correspondiente a la confluencia de las carreteras GC-300 y GC-340 donde domina el ruido de motor, de mayor variabilidad y por tanto también de mayor dispersión en los niveles, lo que queda claramente reflejado en la varianza de la distribución.

Como conclusión global en base a los resultados que presentan los histogramas hacemos constar que desde nuestro punto de vista el foco sonoro más influyente en los niveles sonoros recogidos en las estaciones consideradas se debe al tráfico rodado de la GC-3, lo que confirma la impresión subjetiva que se tienen cuando se permanece por un tiempo en la zona. Luego, cualquier actuación que se vaya a realizar en la zona para paliar el problema detectado pasa por actuar primeramente sobre este foco.

Como ya ha quedado establecido en los apartados anteriores la vía rápida GC-3 es la principal fuente de contaminación acústica de la zona. Además, estamos ante un foco sonoro sobre el que es impensable aplicar medidas de reducción del número y tipo de vehículos que la transitan a diario. Los pertinentes límites de velocidad ya están puestos, justamente en la zona la velocidad está limitada a un máximo de 80 km/h, bajarla aún más considerando el tipo de vía del que se trata sería difícil de justificar y de aplicar. Por otro lado los proyectos en infraestructuras viarias que se están desarrollando en la isla propiciarán un incremento del volumen de tráfico en la GC-3 cuando se habiliten algunos enlaces y tramos que la comunicaran mejor con el norte de la isla, lo cual evidentemente agravará el problema.

Existen algunas otras actuaciones que se pueden ejecutar en pos de una mejora de la situación, que además deben tomarse con visión de futuro. Básicamente se nos ocurren dos: Apantallamiento de la vía mediante la inclusión de una barrera acústica y tratamiento fonoabsorbente del asfaltado de la vía. En este proyecto se ha optado como primera medida a tomar y con visión de futuro por la inclusión de una barrera acústica a lo largo del todo el tramo visible de la GC-3 desde la urbanización. En el apartado anterior se ha simulado la inclusión de dos barreras acústicas de la misma tipología que se diferenciaban únicamente en la altura de las mismas. Como bien se puede apreciar en los resultados que se reflejan en las figuras correspondientes a las simulaciones, en ambos casos se consigue cumplir con el objetivo de calidad acústica que desde la Ley de Ruido y los decretos que la desarrollan se han establecido. Sin embargo, sería deseable optar por la barrera de 3 metros ya que es una solución de más futuros, si atendemos al más que previsible incremento del volumen de tráfico en la citada vía.

El resultado ha permitido establecer el grado de molestia al que se encuentra sometida la población, así como verificar la hipótesis acerca de su origen. Una conclusión de este trabajo es la importancia de fortalecer la realización de estudios de este estilo, con los que sería posible ampliar la información que los mapas de ruido, a los que obliga la Directiva 2002/49/CE, proporcionan, ya que se clarifica una situación de contaminación acústica que el correspondiente mapa de ruido dejaba un poco confusa. Por último, el proyecto acomete el estudio de una posible mejora de la situación. Para ello se realiza también una simulación que refleja la situación actual, sobre la que se introducen medidas correctoras clásicas tales como la inclusión de barreras acústicas básicas a partir de las que concluimos que esta actuación podría suponer una notable mejora respecto de la situación actual.

## 7. Bibliografía

[ASPU06]: I. Aspuru, F. Segues, J. Rubio y M. Vazquez, "The process of Strategic Noise Mapping of Spanish Major Roads (EGRA): first results already available", Euronoise 2006, Tampere.

[COLO11]: Colorado Aranguren, David (2011). Estudio de la atenuación del sonido en el hormigón en función de su densidad y espesor. Aplicación al diseño de barreras acústicas. Tesis doctoral, Universidad Alfonso X el Sabio.

[MORA09]: Morales Pérez, Javier y Fernández Gómez, Jaime. Análisis de algunas variables que influyen en el ruido debido al tráfico urbano en una gran ciudad. Revista Tecnología y Desarrollo, Medio Ambiente y desarrollo. VII. Universidad Alfonso X el Sabio

[PERE89]: Perera Melero, Plácido (1989). Ruido de Tráfico. Revista del Colegio de Caminos, Canales y Puertos. Nº 12: Tráfico en la Ciudad

[SEGU02]: Segues Echazarreta, F. (2002). Evaluación y gestión del ruido ambiental. En Ingeniería Civil, (128), 47-54.