

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE
TELECOMUNICACIÓN

Titulación :

INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN

Título del proyecto:

‘HERRAMIENTA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD
ACÚSTICA DE UN ENTORNO URBANO’

Noemí Garcia de Iturrospe Garcia

Maria Luisa Sanmartin Erviti

Pamplona, 16 de junio de 2011



ÍNDICE	Pág.
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS	2
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS	5
2.1 Parámetros Físicos del sonido 2.2 Parámetros Psicoacústicos	
3. METODOLOGÍA	16
3.1 Caracterización previa mediante modelización	17
3.1.1 SoundPlan Management	
3.1.2 Objetivos	
3.1.3 Ámbito de estudio	
3.1.4 Métodos de Cálculo	
3.1.5 Metodología	
3.1.6 Objetivos de Calidad	
3.1.7 Datos de Entrada	
3.1.8 Resultados	
3.1.9 Conclusiones	
3.2 Caracterización Sonora	32
3.2.1 Objetivos	
3.2.2 Ámbito de estudio	
3.2.3 Metodología	
3.2.4 Resultados	
3.2.5 Conclusiones	
3.2.6 Propuestas de mejora	
3.3 Caracterización Visual	90
4. CONCLUSIONES	91
5. HERRAMIENTA DEFINITIVA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIADAD DE UN ENTORNO SONORO	93
6. APLICACIONES	95
7. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO	102
8. REFERENCIAS	104
9. ANEXOS	107
A.1 Mapas Resultados	
A.2 Encuesta	



1 – INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS



INTRODUCCIÓN

En un momento en el que la ciudad y el diseño urbano se encuentran dominados por condicionantes comerciales y de consumo superficial, es difícil encontrar un diseño urbano proyectado hacia los sentidos, de modo que desde el diseño y la planificación urbana se promueva una auténtica relación entre la gente y la ciudad.

El estudio del ambiente sonoro ha sido mayoritariamente abordado desde un punto de vista negativo. Este enfoque, a estado caracterizado por la reducción de la interacción ambiente sonoro- población a términos de impacto negativo, considerando siempre el ambiente sonoro como un sistema contaminado, donde el ruido ambiental incide de forma negativa sobre la población. Así, al abordar el estudio del ambiente sonoro en contacto con la población, el objetivo final es eliminar o reducir el ruido, sonido no deseado, suponiendo que es el único componente del ambiente sonoro.

Por ello, la mayoría de estudios tienen como objeto eliminar en la medida de lo posible el ruido, regularlo, reducirlo basándose en índices cuantitativos que únicamente nos aportan información sobre los valores del nivel sonoro que soportamos y no sobre la percepción que tenemos de él. De hecho, la actual legislación vigente, establece límites cuantitativos, con el fin de reducir los niveles de presión sonora a los que está sometida la población, ya que se considera la molestia una consecuencia directa de dichos niveles.

En contra de todo esto, diferentes grupos de trabajo quieren dar cabida a la importancia de la percepción que tenemos del sonido y por tanto también del ruido, de manera que nos ajustemos mejor a las necesidades reales de los habitantes de una ciudad. Dado que hoy día se reconoce el ruido urbano como uno de los problemas ambientales más importantes que enfrenta la humanidad, son de vital importancia dichos estudios de la percepción, para mejorar y preservar los buenos ambientes sonoros existentes y tomar nota en posteriores planificaciones urbanas.

El concepto de paisaje sonoro, nace de la importancia de proyectar los estudios hacia lo positivo y lo multi sensorial. El concepto, es introducido por el músico y compositor Murray Schafer, para denominar ‘el entorno acústico, el campo total de sonidos donde quiera que estemos.’ El término Paisaje Sonoro, se refiere a las vibraciones físicas del sonido, a la forma en que los oyentes interpretan un entorno sonoro. Un oyente dentro de un paisaje sonoro es “parte de un sistema dinámico de intercambio de información”, interpretando un papel en su estructura.

Así, el sonido es considerado una necesidad existencial, como consecuencia, resulta también esencial que el diseño, evaluación y gestión de los paisajes sonoros, sea incluido en los futuros planes de ordenación y planificación, así como de movilidad urbana, ya que es necesaria la consideración de una variable con tanta incidencia en el bienestar de la población, como es el sonido con el que interactúa, conseguir la protección y conservación de paisajes sonoros de interés, para conseguir satisfacer las necesidades y requerimientos de la población inmersa en ellos.

Para ello, se hace necesario la selección y uso de una serie de indicadores, así como una metodología que nos permita la evaluación de la calidad del ambiente sonoro.



OBJETIVOS

Evaluación de la calidad del entorno sonoro de un espacio urbano y definición de una metodología y herramienta de trabajo para su posterior aplicación en nuevas evaluaciones acústicas similares, así como en futuras planificaciones urbanas.



2 – FUNDAMENTOS TEÓRICOS



2.1 PARÁMETROS FÍSICOS DEL SONIDO

Sonido

El sonido es una onda de presión longitudinal que se propaga por el aire (aunque puede hacerlo por otros medios como por ejemplo el agua) con frecuencia comprendida entre 20Hz-20KHz y de amplitud comprendida en $2 \cdot 10^{-5}$ -200 Pa.

Siendo una onda, una perturbación que se propaga y la presión, la fuerza que ejercen las perturbaciones sobre una superficie al chocar contra ella.

Decibelio (dB)

Unidad logarítmica que relaciona una magnitud energética con otra de su misma naturaleza, aceptada como referencia, según la siguiente expresión:

$$\text{dB} = 10 * \log_{10} \left(\frac{\text{magnitud}}{\text{referencia}} \right)$$

Frecuencia

Número de ciclos por segundo de una señal.

Unidades: (s^{-1}). Notación Hz.

Las frecuencias audibles van desde 20 a 20000 Hz. En la práctica se tiene suficiente información entre 100 y 5000 Hz. Denominamos bajas frecuencias hasta unos 200 Hz. Medias hasta 1000 Hz. Y altas por encima de ésta.

Nivel de Presión Sonora (NPS)

Variaciones de la presión sonora en un punto, originadas como consecuencia de la propagación de una onda sonora. Este índice varía entre 0 dB (umbral de audición) y 120 dB (umbral de dolor)

$$L_P = 20 \times \log \frac{P_1}{P_0}$$

Donde:

P_1 :valor eficaz de la presión sonora de la señal, cuyo valor queremos calcular, PA.

P_0 : valor eficaz de la presión sonora de referencia. $P_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa para el aire.

Aunque en acústica se suele utilizar la unidad de presión denominada Pascal (Pa), se adopta la escala logarítmica para medir los niveles acústicos, por varias razones: Por un lado, los valores de presión e intensidad tienen un rango dinámico muy amplio (entorno a 10^{12}) y por otro, la percepción del oído humano sigue una forma logarítmica.

Nivel de Intensidad Sonora

La intensidad sonora describe la cantidad y la dirección de un flujo de energía acústica que atraviesa una posición dada.



La intensidad depende de la distancia que haya entre fuente y receptor. De forma general, para la propagación del sonido en el aire y sin presencia de ningún otro tipo de atenuación, esta será:

$$\text{Fuente Puntual: } I = \frac{W}{4\pi r^2}$$

Donde, W es la potencia acústica de la fuente puntual.

En este caso, el Nivel de Intensidad Sonora será:

$$IL = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

Donde

I es el valor eficaz de la intensidad sonora de la señal cuyo nivel queremos calcular.

I_0 : valor eficaz de la Intensidad sonora de referencia. $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ para el aire.

Nivel de Potencia Acústica

La potencia acústica es una propiedad física de la fuente, independiente de la orientación de la misma y de la distancia fuente-receptor.

Se define como:

$$L_W = 10 \cdot \log \frac{W_1}{W_0}$$

Donde:

W_1 : valor eficaz de la potencia acústica de la señal cuyo nivel queremos calcular

W_0 : valor eficaz de la potencia acústica de referencia. $W_0 = 10^{-12}$ para el aire

Curvas isofónicas

Las curvas isofónicas son curvas de igual sonoridad.

Debido a que los sonidos que entran por nuestro aparato auditivo son interpretados por el cerebro dependiendo de su frecuencia, es decir, percibimos los sonidos más o menos fuertes dependiendo de la frecuencia del mismo, se crean estas curvas que representan cómo debe variar el nivel sonoro de sonidos simples (tonos puros) para que a distintas frecuencias, se tenga la misma sensación de sonoridad.

Fonio es una unidad adimensional usada para caracterizar el nivel de sonoridad de un sonido, de lo cual hablaremos más adelante.

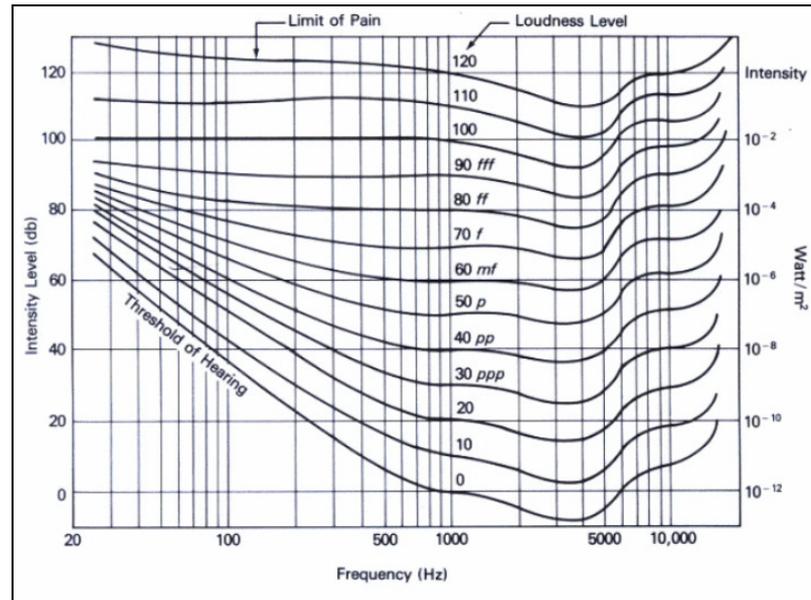


Fig. 1 Curvas isofónicas

Se ve claramente cómo el oído humano es más sensible a las frecuencias medias y medias-altas, que a las graves o agudas. Del mismo modo, se observa que al aumentar la intensidad sonora, las curvas se hacen más planas, lo que significa en que a medida que aumenta el nivel de presión sonora la dependencia de la frecuencia es menor.

Curvas de ponderación

Siguiendo con el punto anterior, estas curvas tienen la misma apariencia que las anteriores pero invertidas.

Existen varios tipos de ponderación:

- Ponderación A: Escala de medida de niveles sonoros que se establece mediante el uso de la curva de ponderación A, normalizada. Compensa las diferencias de sensibilidad del oído dependiendo de la frecuencia. Sigue aproximadamente la curva de 40 fonios.
- Ponderación B niveles de sonoridad entre 55 y 80 fonios
- Ponderación C: niveles de sonoridad de más de 80 fonios
- Ponderación D: niveles de sonoridad de ruido de aviones

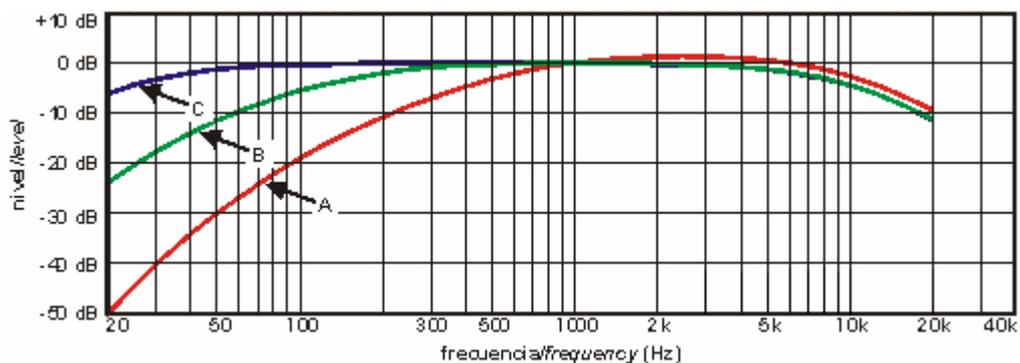


Fig. 2 Curvas de ponderación para el rango audible



Nivel continuo equivalente (Leq)

Es el nivel de presión sonora que si se mantiene continuo durante un periodo de medida, contiene la misma energía sonora que el nivel variable estudiado. Considerando la ponderación A, se define este parámetro por:

$$L_{pAeqT} = 10 \log_{10} \frac{1}{T} \int_0^T (10^{L_{pA}/10}) dt$$

Nivel día-tarde-noche (L_{DEN})

Es el nivel registrado a lo largo de todo un día, para el cual se tienen en cuenta las penalizaciones en modo de dB, según el periodo (Día, Tarde o Noche). Es indicador de ruido asociado a la molestia global y se calcula siguiendo la siguiente fórmula:

$$L_{den} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{1}{24} \cdot (12 \cdot 10^{L_{day}/10} + 4 \cdot 10^{(L_{evening}+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_{night}+10)/10}) \right) \text{ (dB)}$$

L_{day}, es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el periodo día. (7.00-19.00)

L_{evening}, es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el periodo tarde. (19.00-23.00)

L_{night}, es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado A, determinado en el periodo noche. (23.00-7.00)

Nivel máximo de presión sonora ponderado A (L_{pAmax})

Se definen como los niveles máximos de presión sonora en decibelios A alcanzados con ponderación temporal rápida ó Fast (L_{pAmaxF}) y lenta ó Slow (L_{pAmaxS})

Nivel mínimo de presión sonora ponderado A (L_{pAmin})

Se definen como los niveles mínimos de presión sonora en decibelios A alcanzados con ponderación temporal rápida ó Fast (L_{pAminF}) y lenta ó Slow (L_{pAminS}).

Percentiles ponderados A (L₁₀, L₅₀, L₉₀)

Se define el nivel percentil L_N, como el nivel sonoro superado el N% del tiempo de medida total.

- **L₁₀**: representa el nivel que sólo ha sido superado el 10% del tiempo de medida. Es indicativo de los valores altos del ruido.
- **L₉₀**: representa el nivel que ha superado el 90% del tiempo de medida. Es indicativo de los valores bajos de ruido, ruido de fondo.
- **L₅₀**: representa el nivel que ha superado el 50% del tiempo de medida. Es indicativo de los valores medios de ruido.



Nivel de exposición sonora

El nivel constante que proporcionaría la misma energía ponderada A que el suceso considerada, si se mantuviera constante durante un segundo.
Se utiliza para caracterizar sucesos de ruido, como el paso de un vehículo.

Espectro en frecuencia (Análisis en Bandas)

Presentación cartesiana (frecuencia – nivel) que representa la distribución de la señal sonora en bandas normalizadas a lo largo del eje de frecuencia. Las bandas habitualmente utilizadas son de octavas o tercios de octava. También se presenta en forma tabular.

Multi-espectro

Presentación cartesiana (frecuencia-tiempo-nivel) que representa la distribución de la señal en función de la frecuencia y el tiempo (ejes x e y), se muestra también en una escala de colores los niveles que alcanza la señal para cada unidad de tiempo y frecuencia.

2.2 PARÁMETROS PSICOACÚSTICOS

La psicoacústica es una rama de la psicofísica (área de la ciencia que estudia la interconexión entre las propiedades físicas del sonido y la interpretación que el ser humano hace de estas) que estudia la percepción auditiva en base a estímulos acústicos, pues no todos los sonidos de igual presión sonora se escuchan o perciben igual ‘al mismo volumen’. Esto depende de las sensaciones psicoacústicas que se clasifican como sensaciones percibidas en tres grupos: aspereza, sonoridad y timbre.
Es este proyecto se hará especial hincapié en la sonoridad, parámetro conocido como Loudness.

Loudness (Sonoridad), N

La sonoridad (Fuerza), se define en la norma ISO 532B (1966), como la magnitud psicoacústica más básica. Pertenece a la categoría de las sensaciones de intensidad y describe el nivel sonoro que es percibido para distintos niveles de presión sonora. La sonoridad, no sólo depende de la intensidad de un sonido, sino también de su frecuencia, ancho de banda, el contenido espectral y la duración del sonido. Esto hace que haya que prestar especial atención a las condiciones en que se determina o especifica.

Nivel de Sonoridad (L_N):

El nivel de sonoridad de un sonido es el Nivel de Presión Sonora de un tono de 1KHz para una onda plana de incidencia frontal y se mide en fonios.

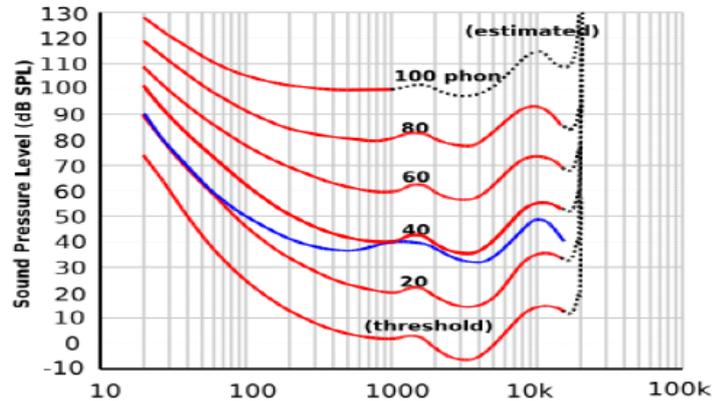


Fig.3 Curvas de igual sonoridad para diferentes niveles.

El nivel de sonoridad coincide por tanto, con la medida de la presión sonora en dB en la línea de 1 KHz, para tonos sinusoidales y ruidos de banda estrecha. Las curvas de igual sonoridad coinciden con el inverso de la curva de sensibilidad del oído.

Para el caso de ondas difusas, los niveles no son los mismos, se diferencian con una atenuación a_D .

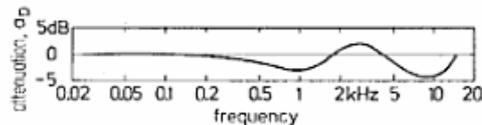


Fig. 4 Atenuación a_D necesaria para producir la misma sonoridad equivalente de un tono puro en campo difuso y libre en función de la frecuencia del tono puro.

Esto significa por ejemplo, que para un tono de 1 KHz en campo difuso el NPS será 3 dB mayor que el NPS de 1 tono de 1KHz de una onda plana, para que ambos produzcan la misma sonoridad.

Función de sonoridad

La sonoridad se puede medir buscando una relación de cambios de estímulos según sensaciones. En el caso de niveles de intensidad sonora, estos en campo libre coinciden con los NPS. El nivel de 40 dB a 1 KHz es la referencia de la sensación de sonoridad (1 sonio). Para la evaluación de la sonoridad la proporción más sencilla se consigue multiplicando y dividiendo. Se busca el **incremento de nivel** que lleva a la sensación de doble sonoridad. Mediante el promedio de muchas medidas de este tipo, llegamos a la conclusión de que a partir de un tono de 1kHz, en ondas planas, se necesita incrementar esta en 10dB para conseguir una doble sonoridad. Por lo tanto, si 40dB corresponden a 1sonio, 50dB serán 2 sonios.

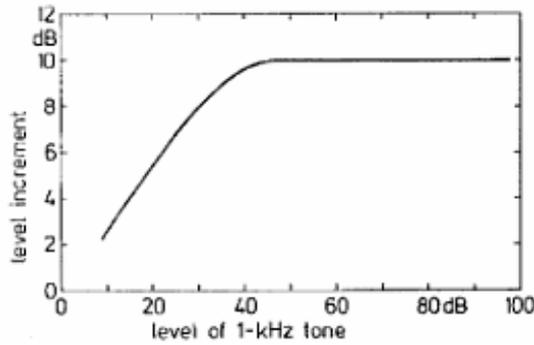


Fig. 5 Incremento (o decremento) de nivel necesario para producir el doble (o la mitad) de sonoridad en 1 tono de 1kHz.

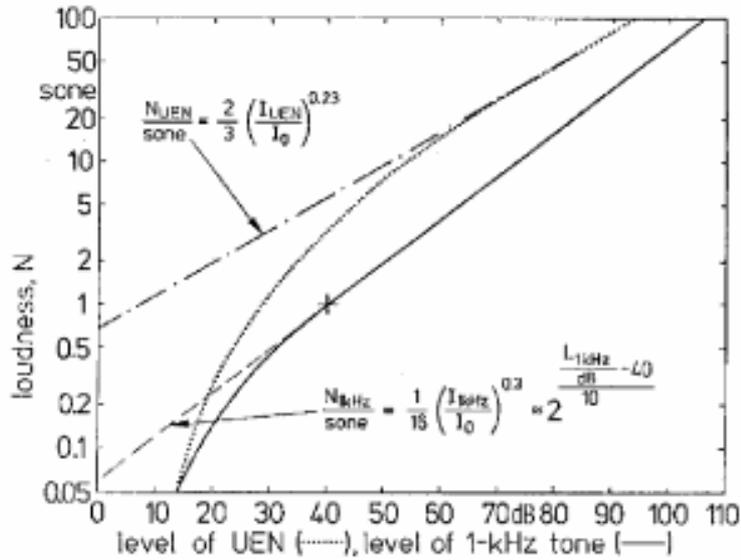


Fig. 6 Función de sonoridad para 1 tono de 1 kHz (línea continua) y para un ruido uniforme (línea punteada). La sonoridad depende del NPS. Las líneas rectas son aproximaciones utilizando leyes de potencia.

La **función de sonoridad** normalmente se da para 1kHz pero puede crearse para otras frecuencias utilizando los niveles de sonoridad equivalentes. Para niveles mayores de 40dB se consigue incrementando 10 dB para doblar la sonoridad. Para niveles menores de 40dB el decremento es más rápido. Por ejemplo, el valor de sonoridad correspondiente a 20fonios es de 0,15sonios. El umbral de audición (3fonios) corresponde a 0sonios.

Relación entre la sonoridad y el nivel de sonoridad:

Se presenta la siguiente fórmula que relaciona la sonoridad medida en sonios con el nivel de sonoridad, fonios.

$$N = 2^{(L_L - 40)/10}$$

Donde,

L_L , es el nivel de sonoridad.

Efectos espectrales

La distribución espectral de un sonido puede ser de banda ancha o estrecha. El sonido más estrecho respecto a su ancho de banda es un tono sinusoidal y el más ancho y distribuido es el ruido uniforme. Este ruido proporciona la misma intensidad en cada banda crítica.

Si la sonoridad depende de los efectos espectrales, el ruido uniforme debería causar mayor efecto.

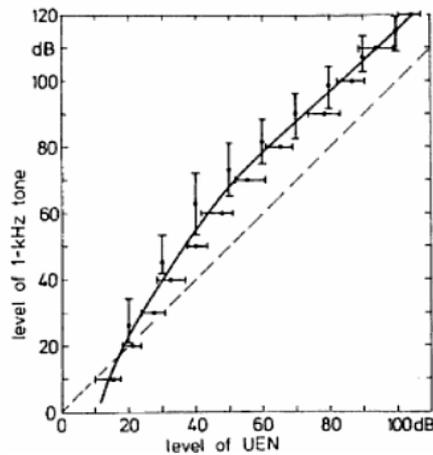


Fig. 7 Medida del nivel de sonoridad. Nivel de 1 tono de 1kHz necesario para que suene tan fuerte como a un ruido uniforme (UEN).

Para sonidos no extremadamente fuertes (<80dB) existe la tendencia de colocar el sonido variable más alto de lo esperado. Mediante la línea rayada podemos comprobar como el nivel del UEN es mayor que el de 1kHz con igual NPS. Para sonidos muy débiles, el tono de 1kHz es más fuerte.

El tono de 1kHz y el ruido uniforme difieren sobre todo en su ancho de banda. El efecto se puede ver en la siguiente figura.

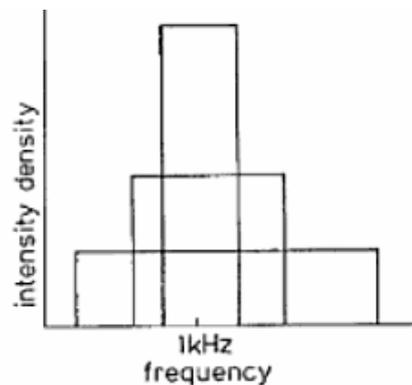


Fig. 8 Densidad de intensidad (dI/df) (densidad espectral) de ruidos de distinto ancho de banda producidos con la misma intensidad.

La **densidad espectral** es independiente a la frecuencia para ruido blanco. Añadiendo al generador de ruido un filtro paso banda y variando el ancho de banda de este, conseguimos sonidos con una densidad espectral específica invariable. Sin embargo la **intensidad** total sí que cambia, ya que esta se mide mediante el área bajo la curva.

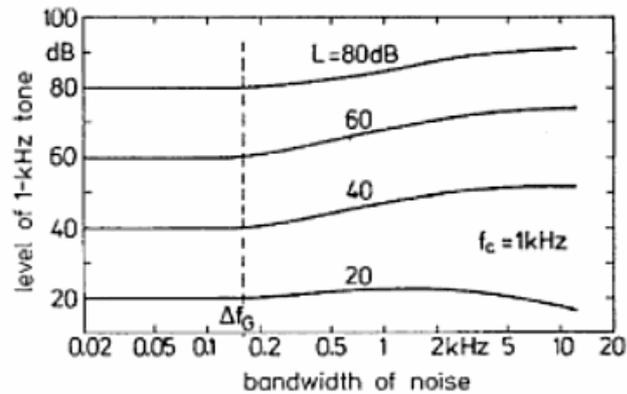


Fig. 9 Comparación entre el nivel de un tono de 1kHz y un ruido paso banda en función de su ancho de banda con frecuencia central f_c para obtener el mismo nivel de sonoridad (L).

El nivel de ruido se mantiene constante y se puede ver como con pequeños anchos de banda, el ruido es tan fuerte como el tono de 1KHz al mismo nivel. Esto ocurre hasta un cierto ancho de banda (Δf_G) (**ancho de banda crítico**) que con frecuencia central de 1kHz se sitúa entorno a 160Hz. Para niveles muy pequeños de ruido (20dB) el incremento de la curva es muy pequeño. Un ruido blanco con un ancho de banda de 16kHz y un NPS de 60dB produce un nivel de sonoridad de 75dB.

Otra forma de estudiar la dependencia de la sonoridad con el ancho de banda es midiendo la **sonoridad de dos tonos** de igual nivel en función de su separación espectral (Δf).

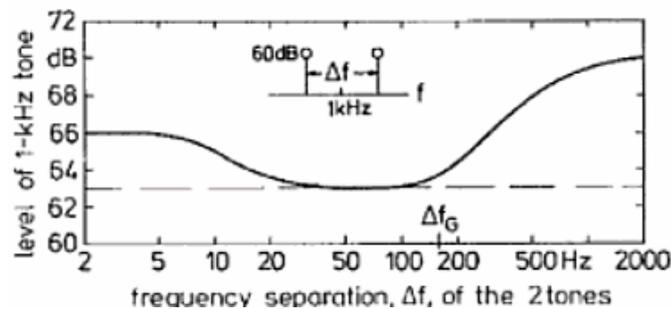


Fig. 10 Nivel de un tono de 1kHz necesario para que suene tan fuerte como el grupo de dos tonos cada uno de ellos de 60db de NPS centrados a 1kHz en función de la separación frecuencial de ambos. La línea recta indica el nivel de los dos tonos juntos.

Para separaciones menores a 10Hz el oído humano es capaz de oír los batidos entre los dos tonos. La sensación de sonoridad en este tramo corresponderá al valor pico alcanzado con el periodo del batido. Con separaciones entre 20Hz y 160Hz la sensación de sonoridad es constante y corresponde a la suma de los niveles de los dos tonos. Para separaciones mayores de 160Hz el nivel necesario incrementa bruscamente. Hasta 2000Hz donde el nivel necesario es de 10dB más que los del grupo de tonos. Esto correspondía a duplicar la sonoridad por lo que, podemos concluir que para grandes distancias frecuenciales la sonoridad del grupo de dos tonos corresponde a la suma de la sonoridad de cada uno de ellos.

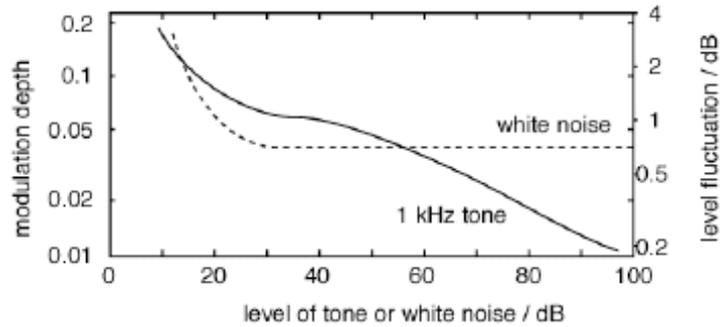


Fig. 11 Diferencia justo perceptible del nivel de sonoridad en una modulación AM con frecuencia de modulación de 4Hz.

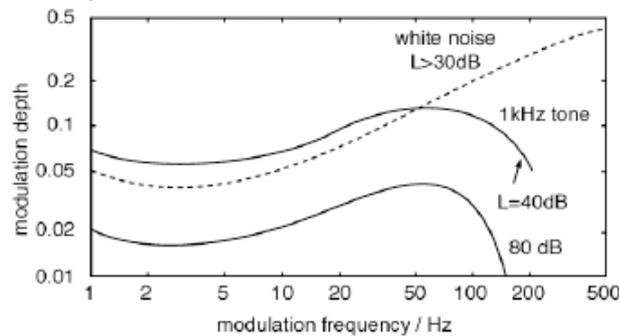


Fig. 12 Diferencia justo perceptible del nivel de sonoridad en una modulación AM en función de la frecuencia de modulación.

Sonoridad para sonidos compuestos

La mayoría de los sonidos que se encuentran en la práctica no son tonos puros, sino que están formados por una gran cantidad de componentes armónicos superpuestos.

La extensión del concepto de sonoridad a estos sonidos no es sencilla, ya que los mecanismos de integración de la sensación difieren según la separación entre las frecuencias de los componentes, evaluada en términos de las bandas críticas.

Si los sonidos puros que forman el sonido compuesto están comprendidos dentro de una misma banda crítica, la intensidad total se obtiene sumando las intensidades individuales. A partir de la intensidad, por aplicación de las curvas de igual sonoridad y luego la función de transferencia, puede obtenerse la sonoridad correspondiente a dicha banda crítica.

Si en cambio los dos tonos puros están suficientemente alejados, a más de una banda crítica entre sí, la sonoridad total se obtiene directamente sumando las sonoridades individuales.

El procedimiento práctico para calcular el nivel de sonoridad consiste en subdividir el espectro de sonido compuesto en bandas críticas, luego sumar las intensidades dentro de cada banda, convertir la intensidad en nivel de sonoridad y éste en sonoridad. Finalmente, sumar todas las sonoridades de las diversas bandas y convertir en nivel de sonoridad. [Ref.1, 2, 27]



3 – METODOLOGÍA



INTRODUCCIÓN

El estudio ha sido focalizado al parque de la Florida de Vitoria-Gasteiz, por ser este uno de los más emblemáticos parques de la ciudad y localizarse en un punto clave en la misma.

Es realizado un estudio de los diferentes entornos sonoros que nos ofrece el propio parque, con el objetivo de mejorar el lugar y hacer propuestas para futuras construcciones de características similares, pretendiendo que en estas se tenga en cuenta además de la percepción visual, la sonora, el confort acústico.

Para ello, se procede a realizar la caracterización previa del parque mediante la modelización tridimensional, que es efectuada con el modelo de cálculo y predicción SoundPLAN[®], con el que se calcularán los mapas de ruido para cada periodo, así como la contribución de los diferentes focos de ruido en receptores situados estratégicamente a lo largo del parque, en representación de los habituales paseantes de la zona.

Una vez realizada la caracterización previa, es realizada la caracterización sonora. Para ello, se adoptan diferentes protocolos y metodologías de medida con el fin de optimizar la herramienta de trabajo mediante la comparación de resultados. Además, se toman medidas tanto en días laborales como festivos para poder comparar situaciones y analizar los factores que más influyen en la percepción subjetiva, así como las diferencias de los parámetros físicos del sonido en ambos días.

Finalmente, con el objetivo de aportar información adicional y un soporte visual a la mediciones, es realizada la caracterización visual, mediante panorámicas de 360° grados realizadas automáticamente mediante el software Windows Panorama Maker.

3.1. CARACTERIZACIÓN PREVIA MEDIANTE MODELIZACIÓN

Introducción

Al buscar la representación del nivel acústico en una determinada zona, surge la problemática de caracterizar el entorno sonoro, ya que influyen gran cantidad de variables en la propagación sonora en exteriores. Entre estos factores se encuentran: la geometría de la zona y las variables atmosféricas (temperatura, humedad, etc.).

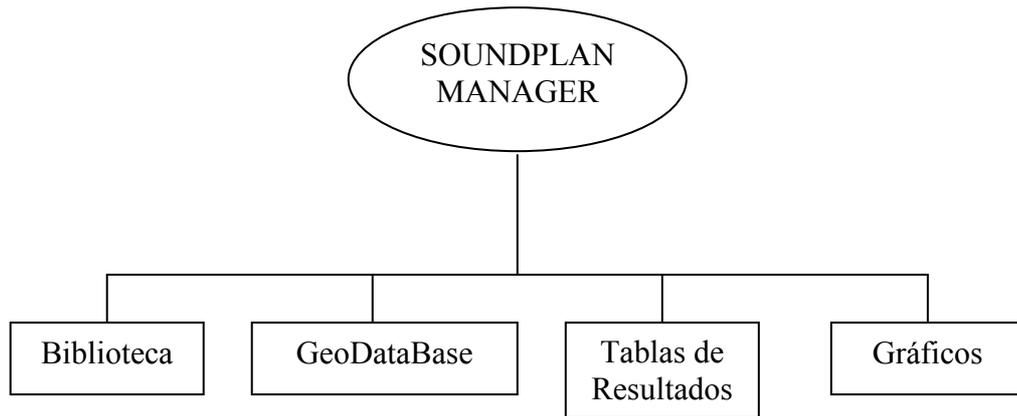
También es compleja esta representación por la variabilidad del sonido en tiempo y lugar. Por todo esto, se usan los modelos de predicción; software computacionales para simular las situaciones acústicas en una determinada zona, modelizando un tipo de fuente y el comportamiento de la propagación del sonido. Como resultado aparecen un número de fórmulas matemáticas para cada caso particular y para que las predicciones sean válidas, se tienen en cuenta una gran cantidad de supuestos y condiciones.

Con el modelo, se reducen los costos producidos por la caracterización del entorno acústico. Además, es la única forma de simular un escenario futuro para evaluar un proyecto y determinar las soluciones acústicas a tomar.

Alguno de estos modelos de predicción son: SoundPLAN, Cadna, Mitra y Predictor.

La caracterización previa de nuestro parque en particular, es realizada mediante modelización tridimensional con SoundPlan, con el objetivo de obtener información relevante acerca de las características acústicas del parque, como el mapa de ruido o la contribución de focos en los receptores que situaremos de forma estratégica en los lugares en los que son tomadas las medidas in situ.

SoundPlan es un programa modular, es decir, está formado por un conjunto de programas individuales integrados en uno principal.



A continuación se describe la estructura del programa y sus características.

3.1.1 SOUNDPLAN MANAGER

Une y coordina los módulos que forman el programa. Desde aquí se borran, copian, seleccionan y abren proyectos existentes y se crean nuevos proyectos.

Permite establecer el método de cálculo a usar, en función del tipo de fuente sonora, la normativa de valoración de los resultados establecidos y la ponderación a aplicar.

Permite trabajar con gran cantidad de métodos de cálculo distintos, entre los que se encuentran el NMPB- Routes B;1998 [Ref. 4], que es el que se utiliza como método para el cálculo de carreteras, tal como dicta el *R.D.1513/2005*.

Este modelo permite trabajar tanto con fuentes lineales como con puntuales o superficiales. Se pueden obtener resultados como niveles sonoros en receptores puntuales, cortes transversales o áreas de cálculo.

3.1.1.1 Biblioteca

Permite guardar información referente a distintos aspectos del ruido, que puede ser utilizada para cualquier otro proyecto posterior.

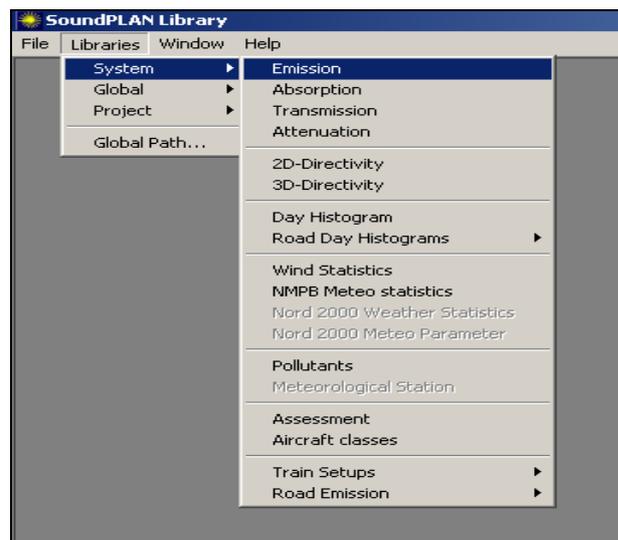


Fig.13 Bibliotecas de SoundPLAN

A continuación se realiza una pequeña descripción de las opciones que permite la biblioteca.

Sistema: Biblioteca por defecto del programa. No permite realizar ninguna modificación.

Global: Biblioteca en la que se pueden crear nuevos datos y se pueden usar en cualquier proyecto.

Proyecto: Biblioteca en la que se pueden crear nuevos datos pero sólo se pueden usar en el proyecto actual.

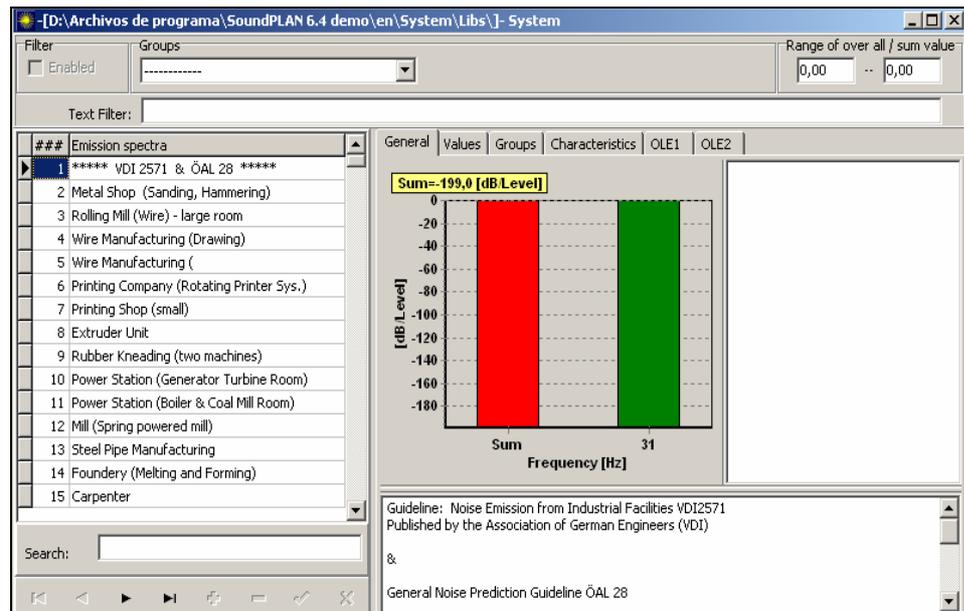


Fig. 14 Biblioteca system

3.1.1.2 Geo-Database

Módulo en el cuál se generan y manejan todos los datos geométricos y descriptivos, que son introducidos en el programa en forma de 'Geos'.

Los archivos Geo se pueden combinar para crear 'Situaciones', esto es, bloques unitarios para organizar el cálculo.

Para crear los Geo se introducen los datos requeridos, seleccionando el símbolo correspondiente y añadiendo los valores de entrada solicitados.

Otra forma de introducir los datos es importándolos desde archivos CAD, con información de cota. Esta opción es la más usada para introducir la topografía de una zona determinada. Existen diferentes tipos de objeto para introducir en el modelo, con los que se representará la situación real de la que se realizará el estudio. Los más habituales serían: Texto, Área, Línea, Carretera, Edificios, Líneas o Puntos Topográficos.

A continuación se muestran las propiedades de los objetos más importantes usados en el proyecto.

Propiedades de cada tipo de objeto

Carreteras

La carretera se introduce en SoundPLAN con un valor de elevación del objeto X, que se toma como elevación de emisión; y un valor de elevación del terreno Y, usado para realizar el modelo digital del terreno DGM.



Los niveles de emisión de la carretera se pueden insertar directamente para cada periodo de tiempo o, introduciendo varios parámetros, el programa calculará la emisión según el estándar de cálculo escogido.

Como la carretera se digitalizará como una línea, para la simulación acústica y la creación de gráficos de mapas de ruido, por ejemplo, tener una línea de emisión no equivale a la realidad, puesto que la emisión no se debe concentrar en el centro de la carretera. Por lo tanto, se introduce una anchura a la vía.

Otra de las propiedades que tiene este tipo de objeto es el de simular viaductos. Para esta labor, se activa la pestaña *Bridge* del menú de propiedades en el punto que empieza el viaducto, y se desactiva en el punto que acaba. Del mismo modo se introduce la anchura del viaducto, insertando la distancia entre el eje de emisión y cada extremo del viaducto.

Absorción del terreno

Utilizado para caracterizar el efecto del terreno. Se usará habitualmente para definir las áreas alrededor de los edificios como zonas con suelo duro, esto es: asfalto y agua. La variable introducida en este caso es 0, pero puede ser 1 en el caso de superficies blandas como campo cultivado o hierba, como ocurre en el caso de parques con gran superficie de jardín.

Edificios

Los edificios son introducidos en SoundPLAN con una elevación de la planta baja Z1 y una elevación del terreno Z2. Esta última es la elevación media del edificio, lo cual se usará en el DGM .

Para caracterizar cada edificio, se introducen distintas propiedades, como el tipo de edificio que es (vivienda, colegio, sanitario, etc.); la altura del edificio, del primer receptor (sólo en caso de querer calcular un mapa en fachada) y la de cada planta; el número de plantas; la planta decisiva (usado como valor predeterminado para optimizar pantallas) y el número de habitantes del edificio.

También se puede elegir el índice de Pérdida por Reflexión, el cuál alude a la pérdida de energía producida en cada reflexión de las ondas sonoras en un objeto; este depende del material y tamaño de la pared, el ángulo de impacto y la frecuencia. Para tráfico rodado, los valores usados son 1 (dB) si es una fachada lisa o 2 (dB) si se trata de una fachada con balcones y superficie desigual.

Para realizar el cálculo del nivel de ruido en fachadas, se pueden seleccionar todas las fachadas sobre las que se desea calcular, de tal forma que se definen directamente los puntos receptores sin tener que insertar receptores individuales.

3.1.1.3 Cálculos

Existen distintos tipos de cálculos para, entre otros, obtener resultados que permitan evaluar la contaminación acústica de una determinada zona.

Todos los cálculos deben llevar un número que sirva para identificar el archivo del cálculo dentro del proyecto. Dentro de un mismo proyecto no se pueden dar dos resultados con igual número.

Propiedades de cada tipo de cálculo usado en el proyecto



Propiedades comunes a cada cálculo

La forma de realizar el cálculo que tiene SoundPLAN es la siguiente: desde un receptor (*single point*), escanea el modelo en busca de emisores, pantallas, reflectores, etc. Esta búsqueda se realiza en forma de saltos de un determinado ángulo, es decir, partiendo desde el receptor, se divide el modelo en triángulos, el ángulo de apertura de cada triángulo es el *incremento de ángulo* que se define en el menú.

El modelo considera un *número* determinado *de reflexiones* de los rayos sonoros en las distintas superficies que se han modelizado. Dicho número se inserta en el menú de propiedades de cada tipo de cálculo. Cuanto mayor número de reflexiones se supone un cálculo más preciso, a la vez que se incrementa el tiempo de cálculo. Por lo tanto el valor elegido debe proporcionar un equilibrio entre el tiempo de cálculo y la precisión del mismo.

Otra propiedad que se debe definir es la llamada *profundidad de reflexión*, esto es, el número de superficies sobre las que el modelo considerará las reflexiones, contando desde el receptor a la fuente. Si se elige 0, sólo se consideran las reflexiones producidas por el obstáculo inmediatamente anterior a la fuente; si es 1, se consideran reflectantes la superficie inmediatamente anterior, y la anterior a esta y así sucesivamente. Como en el caso del número de reflexiones, el valor elegido debe proporcionar un equilibrio entre la precisión del cálculo y el tiempo del mismo.

Si en el menú de propiedades del cálculo se activa la pestaña de *Reflexión del lado de la fuente*, el modelo tiene en cuenta todos los elementos reflectantes que se encuentren a menos de 100 metros de la fuente de ruido y que se pueden ver directamente desde la fuente, como por ejemplo, las pantallas en el borde de una carretera

En el cálculo se puede considerar o no la difracción en los obstáculos, activando o no la pestaña *enable side diffraction*.

Otras variables que se pueden introducir son: *máximo radio de búsqueda*, que describe la máxima distancia desde el receptor a partir de la cual no se tiene en cuenta ninguna fuente; *Tolerancia*: Parámetro que permite reducir el tiempo de cálculo. Dependiendo del valor introducido y de su contribución en el nivel sonoro total, tendrá en cuenta el valor de unas fuentes u otras; por último activando la pestaña *creación de áreas de efecto suelo desde las superficies de carretera* las superficies de carretera entre fuente y receptor se consideran como suelo reflectante, incrementando así el tiempo de cálculo. Si no está activado, se considera como suelo blando.

A continuación se describe brevemente cada cálculo usado y las variables propias de cada uno.

Grid noise map

Permite visualizar el nivel sonoro a nivel de calle.

Genera una malla de receptores fija sobre el área de cálculo previamente definida en la base de datos Geo. La altura de esta malla se define en el menú de propiedades del cálculo. Del mismo modo que se puede elegir la separación entre cada receptor de la malla.

El programa genera una malla en forma de cuadrícula con la anchura introducida anteriormente, en el centro de las cuales se situará un receptor.

Al calcular, SoundPLAN divide el área de cálculo, en grupos de 1x1, 3x3, 5x5 o 9x9 puntos receptores, que son calculados independientemente. Para cada grupo, calcula el nivel sonoro alcanzado en los receptores de las esquinas y del centro, y se interpola el valor del centro a partir de los de las esquinas. Si la diferencia entre los valores de las esquinas está



dentro del rango *Min/Max*, elegido en las propiedades del cálculo, y la diferencia entre el nivel interpolado y calculado del receptor central, está dentro del parámetro *Diferencia* introducido en las propiedades, los niveles del resto de los receptores son interpolados. Si no es así, el software subdivide el grupo en 4 subgrupos y repite el proceso en cada grupo hasta que se cumplen los criterios anteriores.

El nivel de ruido incidente en el cuadrado será el nivel calculado en cada receptor situado en su centro.

Por lo tanto, la anchura de malla (separación entre receptores) definirá la precisión del mapa de rejilla. Cuanto menor sea esa anchura más real será el cálculo, pero mayor será el tiempo de cálculo.

Mapa de ruido en fachada

Es una representación de un cálculo en receptores *single point*, donde esos puntos son generados por el programa a partir de las fachadas que hemos seleccionado en la base de datos Geo. Las características de estos receptores (altura, uso, etc) se definen en dicha base de datos.

En este cálculo particular, se hace el cálculo para 5 receptores *single point* situados en los puntos donde más tarde se harán las mediciones correspondientes a la caracterización sonora.

3.1.1.4 Tablas de Resultados

Permite crear tablas e informes en los que se reflejan los resultados obtenidos en los cálculos para así determinar, por ejemplo, cuál sería el foco más ruidoso o el que más influye sobre un determinado receptor, y de esta forma saber sobre qué foco es necesario actuar y cuál será su eficacia.

3.1.1.5 Gráficos

El modelo permite realizar representaciones de los cálculos realizados. Estas representaciones pueden ser en planta (2D) o en perspectiva (3D). Del mismo modo, se pueden realizar animaciones de la situación.

Se pueden modificar los datos de entrada para proporcionar un resultado gráfico con mejor o peor estética.

También existe la posibilidad de realizar *Mapas de Conflicto* en los que se representa el exceso de ruido en una determinada zona y *Mapas de Diferencia*, en los que se muestra la diferencia entre varios escenarios distintos, por ejemplo, actual y futuro.

Para más información sobre SoundPLAN, consultar el manual [Ref. 3].

3.1.2 OBJETIVO

El objetivo de la caracterización previa es obtener información previa relevante sobre las características acústicas del parque.

3.1.3 ÁMBITO DE ESTUDIO

El parque de la Florida se sitúa en el núcleo de la ciudad Alavesa de Vitoria-Gasteiz. Alberga uno de los más emblemáticos monumentos de la ciudad como es su quiosco,

alrededor del cual muchas tardes decenas de personas se reúnen para escuchar y disfrutar de la música en directo. Además, en él se encuentran árboles centenarios y un importante jardín botánico. Su distribución laberíntica guarda misteriosos rincones para pasear, leer o simplemente disfrutar de un halo de romanticismo.

El parque se encuentra delimitado por tres de las calles principales de la ciudad:

- Al norte calle General Álava y Becerro de Bengoa, que aunque no soportan grandes intensidades de tráfico viario, en ellas confluye el tráfico viario (incluidos autobuses de línea en alta frecuencia), el tráfico ferroviario y un sin fin de viandantes.
- Al sur, la calle Ramón y Cajal, una de las más afluyentes de la ciudad.
- Al sureste la calle Florida que junto con Becerro de Bengoa es una de las más transitadas.

Al oeste se delimita con Cadena y Eleta que es uno de los puntos de encuentro de la ciudad pues en ella se sitúan las paradas de autobuses más importantes que unen los barrios periféricos con el centro. Al este, hace de límite una estrecha calle peatonal e incluso los edificios situados en ella, detrás de los que se encuentra la C/ San Antonio, estrecha pero bastante transitada.

Se presenta en imágenes la situación actual del parque:



Imagen del Google Earth del Parque de la Florida



3.1.4 MÉTODOS DE CÁLCULO

El objetivo de un método de cálculo para ruido de tráfico es poder prever los niveles acústicos generados por diferentes focos de ruido, tanto si estos están contruidos, o sólo están proyectados. De esta forma, comparando esos valores obtenidos con los límites establecidos, se puede ver el impacto acústico generado por la vía y a su vez, si es necesario o no tomar las medidas correctoras oportunas.

Estos métodos calculan el valor en la inmisión teniendo en cuenta los niveles de emisión y la propagación.

Para tráfico viario, se asigna un valor de potencia acústica por metro de carretera dependiendo de las características de ésta (pendiente, naturaleza de la misma, etc) y del tráfico (tipo de flujo, velocidad, densidad, etc).

El método de propagación tiene en cuenta las atenuaciones debidas a la propagación del sonido, dependiendo de la distancia con el receptor, obstáculos, etc. Este modelo añade al primero las correcciones por esa atenuación.

Existen varios métodos de cálculo para distintos países, entre los que se encuentran NMPB – Routes – 96 (Método Francés) [Ref. 5], el establecido como método de referencia en España por el *R.D.1513/2005* o Nord 2000 (Método Nórdico) [Ref. 6 y 8].

El Método francés, como los desarrollados en su época, simplifica los algoritmos matemáticos, de forma que en relación con la propagación es un modelo en octavas que considera el cálculo únicamente en dos situaciones meteorológicas: condiciones favorables (los rayos se curvan hacia el suelo) y condiciones homogéneas (rayos rectilíneos).

En el primer caso se aplica la ISO 9613-2 [Ref. 10] como método de propagación sonora en exteriores, mientras que en condiciones homogéneas considera la *Guide du Bruit des Transpots Terrestres* [Ref. 5]. En los modelos computacionales se introduce el porcentaje del tiempo que se consideran condiciones homogéneas o favorables, a partir del cuál se calcula la atenuación producida en la propagación.

En relación con el efecto del terreno sólo permite diferenciar dos tipos de terreno: poroso o duro (reflectante). De la misma forma que distingue solo tres zonas de terreno cuando se trata de condiciones favorables: el situado junto a la fuente, el situado junto al receptor y el suelo situado entre ambos.

En la actualidad se dispone de métodos más completos como el Nord 2000, el cual se desarrolla pensando en la complejidad computacional que pueden asumir los ordenadores, y que ha sido la referencia para proponer un futuro modelo europeo.

Este método está basado en datos en tercios de octava, diferencia 7 tipos de terreno y para valorar el efecto del terreno y de los obstáculos utiliza el método del elipsoide Fresnel. Del mismo modo que permite seleccionar distintas condiciones meteorológicas introduciendo parámetros como la temperatura o la rosa de los vientos.

A diferencia del resto de métodos europeos, el Nord 2000 incluye un método para la caracterización de los túneles.

Para el caso de tráfico ferroviario, se utiliza el método RMR 2002, que es el método holandés para la predicción de los niveles de presión sonora producto de las vías férreas. Este método se compone de tres procedimientos (A, B y C).

En nuestro caso utilizaremos en primero por tratarse de un método simple que caracteriza acústicamente un tren específico en función de una base de datos que ya dispone. Dicha base de datos se compone de 9 categorías de trenes diferentes entre sí. La caracterización se hace comparando una medición de un tren específico en bandas de



octava, con los espectros de la base de datos. En caso de ser necesario, se aplica un factor de corrección por la rugosidad de las vías donde transita el tren medido.

Este método tiene en cuenta la corrección por posibles reflexiones, atenuación por distancia, tipo de absorción del suelo, condiciones meteorológicas y el valor de la emisión entre otros.

El método te devuelve la emisión de la fuente de ruido para 5 alturas diferentes que dependiendo del tipo de tren seleccionado, da más peso a unas que a otras, es decir, da más peso a un tipo de ruido generado por el paso del tren que a otro (por ejemplo la altura 0 correspondería al ruido proveniente de la fricción que el tren hace con la vía).

Para más detalles [Ref.22]

3.1.5 METODOLOGÍA

La metodología para los análisis acústicos, es la definida por el R.D.1513/2005, que desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido en lo que respecta a evaluación y gestión del ruido ambiental, y está basada en la aplicación de **métodos de cálculo**. Los métodos de cálculo definen, por un lado la emisión sonora de los focos de ruido a partir de sus características y por otro, la propagación.

El método de cálculo utilizado es el establecido como referencia a nivel estatal y europeo por el R.D.1513/2005:

- El método *NMPB-Routes-96*, método a aplicar en el caso de que la fuente de ruido sea el tráfico viario. Para velocidades en las vías de tráfico inferiores a 50 Km/h se utilizará para el cálculo de la emisión un método más actualizado, el Nord2000.
- El método holandés (*reken-en meetvoorschrift railverkeerslawai '96*), es el método de cálculo a aplicar en el caso del tráfico ferroviario.

Los focos de ruido de tráfico viario, ferroviario y puntuales (fuentes de agua) identificados en este estudio se caracterizan mediante su potencia acústica (nivel de emisión), y ésta se define a partir de los datos de tráfico:

- IMD (intensidad media de vehículos diaria), IMH (intensidad media de vehículos horaria), velocidad, porcentaje de pesados y tipo de pavimento, y características meteorológicas del lugar (esto sólo para el método Nor2000) cuando se trata del tráfico viario.
- Tipo de tren y frecuencia de cada tipo, velocidad, tipo de vía, y número de vagones entre otros, cuando se trata de tráfico ferroviario.
- Potencia de emisión según la frecuencia, es decir, espectro de emisión medido y calculado siguiendo el método nórdico estandarizado.[Ref. 25]

Una vez caracterizado el foco de ruido a partir de su nivel de emisión, es necesario elaborar los cálculos acústicos que permitan obtener los niveles de inmisión. En este sentido, es un requisito disponer de una modelización tridimensional que defina las características del terreno y que permita disponer de las tres coordenadas de dicho foco y receptores del área.

La modelización tridimensional, se efectúa con el modelo de cálculo acústico utilizado, en este caso SoundPLAN[®]. Este modelo permite la consideración de todos los factores que afectan a la propagación del sonido en exteriores, de acuerdo con lo fijado en el método de referencia para la obtención de los niveles de inmisión en la zona de análisis o en las fachadas de los edificios.



Los niveles de inmisión (L_{Aeq}) en cada receptor y para cada período del día considerado, se obtienen por aplicación del efecto de una serie de factores sobre el nivel de emisión definido para cada foco, correcciones que son debidas, entre otros, a los siguientes factores:

- Distancia entre receptor y carretera.
- Absorción atmosférica.
- Efecto del terreno según tipo.
- Efecto de posibles obstáculos: difracción/ reflexión.
- Otros...

Los niveles de inmisión pueden representarse a través de:

- **Mapas de Ruido:** Son mapas de isolíneas o bandas de diferentes colores que representan los niveles de inmisión que los focos de ruido ambiental generan en el entorno a alturas de 4 o 1,5 metros sobre el terreno. El R.D.1513/2005 define la altura a 4 m. para los mapas estratégicos de ruido, pero con el fin de reflejar el efecto sobre los espacios libres de utilización pública, es más representativo el cálculo a 1,5 m. de altura. Es decir, representan el ambiente sonoro generado por dicho foco en el área de estudio y permite diferenciar las zonas más y menos expuestas.

3.1.6 OBJETIVOS DE CALIDAD ACÚSTICA

El marco legislativo para la evaluación y gestión del ruido se establece principalmente por la Directiva Europea 2002/49/CE, y a nivel estatal, la Ley 37/2003 del Ruido que está desarrollada por dos reales decretos:

- El RD 1513/2005, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, que además de forma conjunta completan la transposición de la Directiva Europea 2002/49/CE.
- y el RD 1367/2007 que completa el desarrollo de la Ley del ruido en relación a la zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.

Los objetivos de calidad quedan por tanto establecidos en el RD 1367/2007. Se determinan para tres índices de ruido, que representan los niveles promedio anuales en los periodos día L_d (7 a 19 horas), tarde L_e (19 a 23 horas) y noche L_n (23 a 7 horas). Hacen referencia a índices de ruido totales, es decir, teniendo en cuenta todos los focos de emisión.

Los objetivos de calidad aplicables a las zonas urbanizadas existentes se presentan en el cuadro siguiente (RD 1367/2007 – Anexo II, Tabla A):



Referenciados a una altura de 4 m.

TIPO DE ÁREA ACÚSTICA		Índices de ruido dB(A)		
		L _d	L _e	L _n
E	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera de especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
A	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial	65	65	55
D	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto al anterior	70	70	65
C	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y espectáculos	73	73	63
B	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial	75	75	65

Para el resto de las áreas urbanizadas se establece como objetivo de calidad acústica para ruido la no superación del valor que le sea de aplicación a la tabla A del anexo II, disminuido en 5 decibelios.

Consideramos el Parque de la Florida un sector de uso predominante recreativo.

3.1.7 DATOS DE ENTRADA

Los datos de entrada hacen referencia por un lado a la emisión y por tanto a las características de tráfico de los focos de ruido ambiental (calles y ferrocarril, así como los focos de ruido puntuales) y por otro, a la propagación, definiendo las características y peculiaridades del entorno.

Para la modelización se parte de la cartografía facilitada por el ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

Los datos de tráfico considerados para la definición del escenario de cálculo se presentan como intensidades de tráfico diarias y horarias medias, % de vehículos pesados y velocidades para los casos de tráfico viario. Para tráfico ferroviario se presentan datos como tipo de tren, nº de trenes y vagones en los diferentes periodos y sus velocidades.

Los datos se han basado en:

- Mediciones in situ para el tráfico viario de calles.
- Datos publicados en la página Web oficial del ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz, para el tráfico ferroviario del tranvía.
- Datos publicados por RENFE para tráfico ferroviario de cercanías, largas distancias y mercancías.
- Datos de potencia de emisión de los focos puntuales medidos con el sonómetro 8.24

A continuación se presentan los datos descritos:

**Tráfico viario, calles:**

CALLE	IMD	% Pesados	(Km/h)	Flujo de tráfico	k(d)	k(e)	k(n)	Ld (dBA)	Le(dBA)	Ln(dBA)
C/ Florida	15250	2	50	Irregular	0,06033	0,03425	0,01758	81,87	79,53	77,10
C/ Monseñor Cadena y Eleta	6500	2	50	Irregular	0,06	0,035	0,02	78,19	75,83	73,40
C/ Ramón y Cajal	16125	2	50	Irregular	0,06033	0,035	0,02	82,14	79,77	77,34
C/ S Antonio	3000	2	30	Irregular	0,06033	0,035	0,02	69,02	65,22	61,24
C/ Becerro de Bengoa	1125	2	30	Irregular	0,06	0,04775	0,01713	64,76	60,96	56,98
C/Paseo de la Senda	17125	2	30	Irregular	0,06033	0,035	0,02	76,59	72,78	68,81

Tabla1. Datos de entrada del tráfico viario de las calles más próximas al Parque de la Florida

Tráfico ferroviario, línea de RENFE:

CATEGORIA	VEL.(Km/h)	N(d)	N(e)	N(n)	Ldía (dB)	Ltarde(dB)	Lnoche (dB)
motor: Disk braked passenger trains	50	13	2	4			
Disk braked passenger trains	50	26	4	8			
Disk Braked InterCity and slow trains	50	35	0	0			
Disk Braked InterCity and slow trains	50	10	5	0	107,10	107,12	105,72
Disk Braked InterCity and slow trains	50	0	0	10			
Disk Braked InterCity and slow trains	50	0	0	20			
Block braked freight trains	50	110	60	60			
Block braked freight trains	50	80	10	30			

Tabla2. Datos de entrada del tráfico ferroviario, línea de RENFE.

Tráfico viario línea de Tranvía:

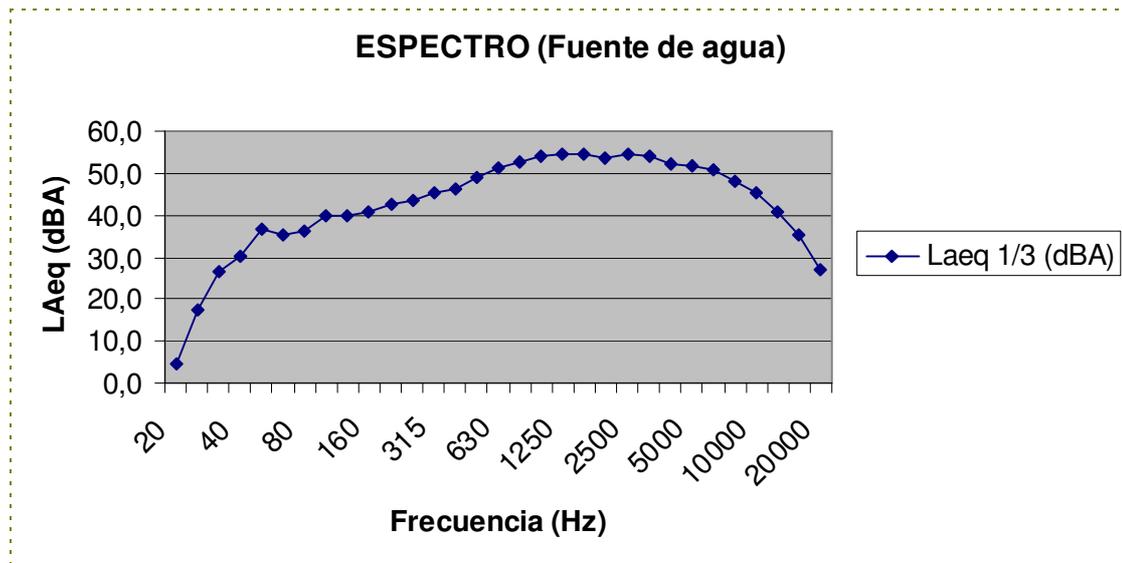
CATEGORIA	VEL.(Km/h)	N(d)	N (e)	N(n)	Ldía (dB)	Ltarde(dB)	Lnoche (dB)
Disc. Br. Urban subway and rapid train	30	300	100	5	99,47	99,47	83,45

Tabla3. Datos de entrada del tráfico ferroviario, línea del tranvía.

Focos puntuales: cuatro fuentes de agua

LAeq (dBA)	Lmax. (dBA)	Distancia (m)	LwA	Observaciones
56,7	61,3	1	69,3	Fuentes de ruido puntual, continuo. Fuente pequeña de agua, omnidireccional y rica en altas frecuencias, lo que hace que sea enmascarada por el ruido de tráfico

Tabla 4. datos de entrada de las cuatro fuentes puntuales del parque



Gráfica1. Espectro frecuencial de emisión de las fuentes de agua del parque

3.1.8 RESULTADOS

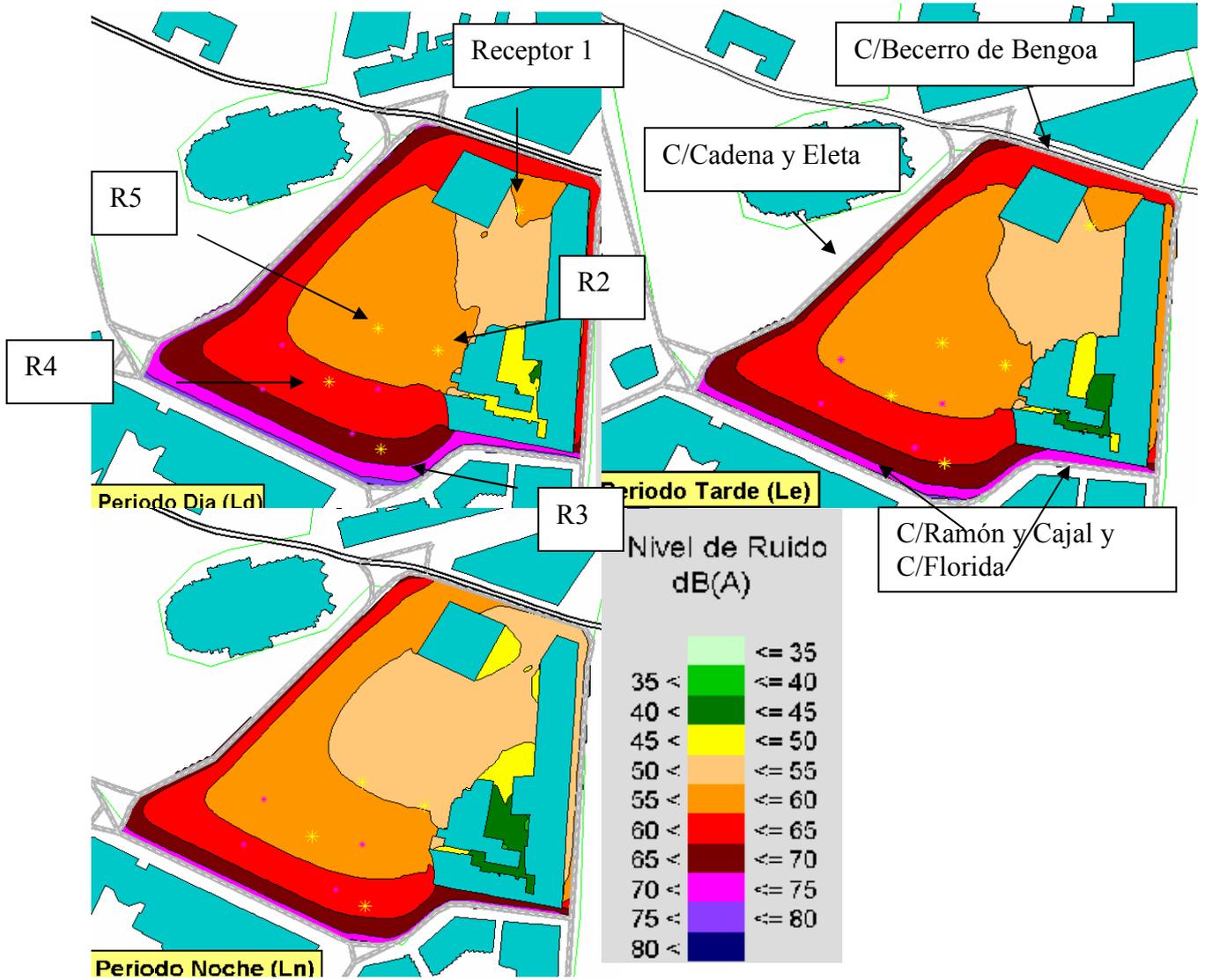
Se presentan los resultados obtenidos para la situación acústica descrita en el apartado anterior en dos mapas, el primero refleja el mapa de ruido para los diferentes periodos y el segundo, la recepción de los receptores instalados de forma estratégica (simulando a los oyentes en el paseo sonoro).

Considerando el área de uso predominante recreativo y que es una zona urbanizada existente, los OCA (Objetivos de Calidad Acústica) establecidos por el R.D.1367/2007 son, 73dB para los periodos día y tarde y 63 dB para el periodo nocturno.

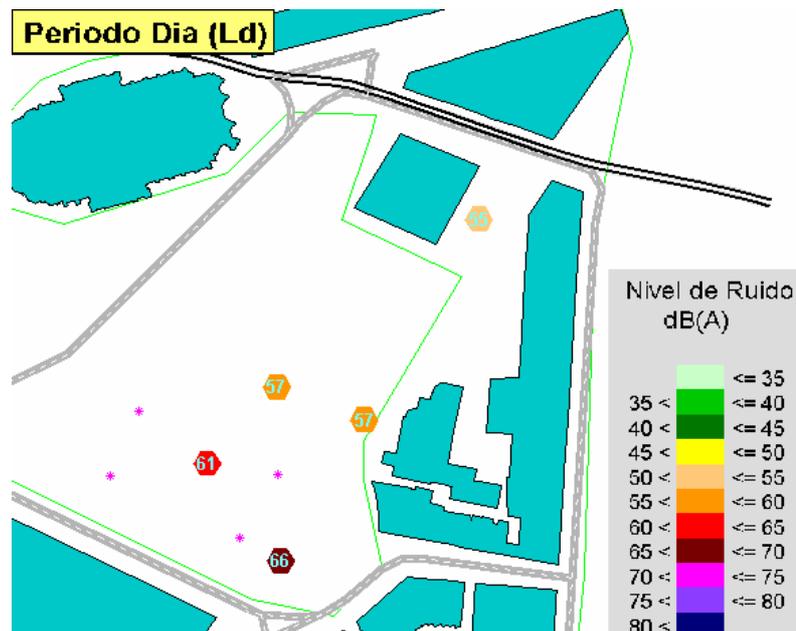
Los niveles de inmisión en la zona de estudio y a 1,5 m. sobre el terreno en la situación actual son:

- Para los períodos día y tarde, en la zona más próxima a la calle Becerro de Bengoa y el tranvía, los niveles de ruido están entre 60-65 dB(A), registrándose un nivel de 55 dBA en el primer receptor, situado justo en frente del parlamento. Para el periodo nocturno dichos valores descienden hasta 50-55dBA.
- Para los límites cercanos a la calle Florida y Ramón y Cajal, los niveles de inmisión en la zona más expuesta y próxima a la carretera se llegan a situar entre 70-75 dB(A). A medida, que nos acercamos al interior del parque, dichos valores van disminuyendo hasta alcanzar los 55-60 dBA, para los periodos día y tarde, de hecho en los receptores situados en ese punto, los valores registrados son de 57dBA.

A continuación, se presentan los mapas de ruido para cada periodo y los niveles de inmisión sobre cada receptor para el periodo diurno, debido a que es en este periodo en el que se harán las mediciones para determinar la calidad acústica del entorno.



Mapa1. Mapa de ruido del Parque de la Florida para los diferentes periodos



Mapa2. Mapa con los niveles de inmisión en cada receptor



También resulta interesante hacer un análisis de la contribución que los diferentes focos hacen sobre los cinco receptores distribuidos en el parque. Esto lo podemos observar en las tablas que nos ofrece el programa, sobre contribución de espectros. De este modo determinamos que:

- Sobre el primer receptor, la mayor contribución la hacen el tráfico viario procedente de la calle Ramón y Cajal, las vías del tranvía y el tráfico procedente de la calle Becerro de Bengoa.
- Sobre el segundo, tercer y cuarto receptores incide sobre todo el ruido de tráfico viario procedente de las calles Ramón y Cajal y Florida.
- Sobre el quinto y último receptor, la mayor influencia es ejercida por el tráfico viario procedente de Ramón y Cajal y Monseñor cadena y Eleta.

3.1.9 CONCLUSIONES

En el estudio acústico realizado se han obtenido tanto los niveles de inmisión a 1,5m de altura sobre el terreno, como los niveles de inmisión registrados en los receptores situados a lo largo del parque en los puntos exactos donde se harán posteriormente las mediciones necesarias.

Si es realizado un análisis global sobre el mapa de ruido, observamos como no se registran niveles superiores a los objetivos de calidad para zonas urbanizadas existentes de uso predominante recreativo, para los periodos día y tarde, que son los que realmente nos interesan en este proyecto ya que las mediciones se realizarán en estos periodos. En el mapa de los niveles de inmisión en cada receptor, observamos diferencias de hasta 10dBA entre unos y otros (R3= 66dBA y R1= 55dBA) lo que significa que existen diferencias importantes entre unos puntos de medida y otros.

Haciendo referencia a la contribución que tienen los diferentes focos de ruido sobre los receptores, resulta curioso observar como no siempre los focos más cercanos son los más influyentes, esto se debe principalmente a la diferencia de densidad de tráfico existente entre unas calles y otras. Esto ocurre concretamente en el primer receptor donde el foco del que recibe la mayor parte del ruido es precisamente el más lejano, esto es así porque este foco soporta una densidad de tráfico mayor que el doble que el foco más cercano y además la velocidad también es superior.

En general, podemos concluir que aunque no se superan los objetivos de calidad establecidos en el Real Decreto 1367/2007, el parque si que soporta niveles altos en todos los puntos estudiados, no siendo tan adecuado para el descanso y el paseo como en un principio se podría pensar.



3.2. CARACTERIZACIÓN SONORA

Introducción

Para realizar el estudio de la calidad acústica de un entorno, resulta imprescindible hacer un estudio sonoro en el mismo. Con ese objetivo se hacen mediciones sobre parámetros físicos de los sonidos que nos ofrece el entorno, parámetros psicoacústicos y sobre la percepción subjetiva que se tiene de ese entorno. Para ello, se hace tanto trabajo de campo, es decir, toma de mediciones y datos in situ como análisis en el laboratorio.

El trabajo de campo consiste básicamente en la toma de datos de los tres tipos, aprovisionándonos de la instrumentación necesaria. Además, también tomamos instantáneas del lugar para dotar de información visual los documentos.

El análisis de laboratorio, consiste en el estudio de los datos obtenidos, cálculo de otras variables y gráficas, como por ejemplo el multi-espectro y sobre todo análisis de las respuestas de percepción relacionándolo con el resto de variables. Para esto, contamos con instrumentación específica y modelos estandarizados.

3.2.1 Objetivo

Realizar un estudio de los diferentes entornos sonoros que nos ofrece el Parque de la Florida, con el objetivo de mejorar el lugar y hacer propuestas para futuras construcciones de características similares, pretendiendo que en estas se tenga en cuenta el confort acústico.

Además, se pretende llevar a la práctica la herramienta de valoración de calidad acústica para poder evaluarla y mejorarla.

3.2.2 Ámbito de estudio

Para este parque han sido elegidos 5 puntos de medida. Por un lado, se traza una línea recta a lo largo del paseo principal del parque (Paseo de la Senda) y se escogen los puntos más característicos y diferentes entre sí, acústicamente hablando; frente al parlamento, frente a la biblioteca y cerca del hotel.

Por otro lado, se han elegido otros 2 puntos considerados esenciales en el parque; los bancos de colores típicos del lugar y el mítico quiosco. Este último, monumento imprescindible en la visita a la ciudad y lugar de encuentro de muchos vitorianos.

La primera medición es realizada frente al Parlamento Vasco situado al borde de la calle Becerro de Bengoa, cerca de la parada del tranvía. Se escoge este lugar por ser uno de los puntos más afluyentes del parque y por lo tanto uno de los más importantes.

La segunda medición es realizada frente al centro cívico Ignacio Aldekoa donde se sitúa una de las bibliotecas municipales más importante. Se puede afirmar que es el punto medio del paseo que atraviesa el parque y que en el inciden todo tipo de sonidos, se puede oír el lejano tren que se acerca o aleja de la ciudad, los pajarillos cantar, a las personas entrando y saliendo del centro el tranvía o los autobuses pasar etc..

La tercera y última en el paseo del parque, es tomada en uno de los puntos más cercano, pero en el interior del parque al mismo tiempo, a las calles más afluyentes de alrededor con el fin de determinar la importancia del ruido de tráfico en el parque, además de disponer de entornos sonoros diferentes entre sí.

Las dos medidas restantes realizadas en el quiosco y en los bancos de colores se hacen por las razones indicadas al comienzo. Además, intuimos que estos lugares tienen otras

funcionalidades diferentes a los situados en el paseo, que suponemos serán más de paso, enriqueciendo el estudio. El paisaje visual también dista bastante de las zona del paseo por lo que resultará interesante la comparación entre la percepción visual de unos y otros puntos así como la influencia que pueda tener sobre la percepción sonora.



Fig. 15 Puntos de medida en el Parque de la Florida por orden de nombramiento.

3.2.3 Metodología

Para la caracterización y definición de cada punto, se miden tanto características cuantitativas como cualitativas, es decir, los parámetros que definen las propiedades físicas del sonido y los que definen su percepción subjetiva.

Para obtener la percepción subjetiva en cada punto, se sigue el ejemplo de un equipo sueco con pequeñas variaciones.

Por un lado, obtenemos el parámetro psicoacústico Loudness que cuantifica la percepción subjetiva del sonido, siguiendo la fórmula de Zwicker.

Por otro lado, se han diseñado unas encuestas con el fin de obtener una definición cualitativa sobre dicha percepción.

El objetivo del análisis de resultados, es comparar los parámetros físicos con los descriptores de la percepción, para establecer una relación entre ellos. Dicha relación, debe servirnos como herramienta de trabajo en la planificación de futuros espacios urbanos de similares características.

3.2.3.1 Instrumentación

Para la realización de trabajo de campo se cuenta con el Sonómetro analizador en tiempo real LD-824 conectado al DAT. El sonómetro es utilizado para la medición de todos los parámetros físicos y el DAT simplemente para el registro de las mediciones, como biblioteca para futuras investigaciones.

Para medir el Loudness, se cuenta con el analizador Larson Davis 2900, que nos proporciona una estimación de dicho parámetro tanto en sonios como en fonios y el Pulse con su módulo software Sound Quality type 7698.

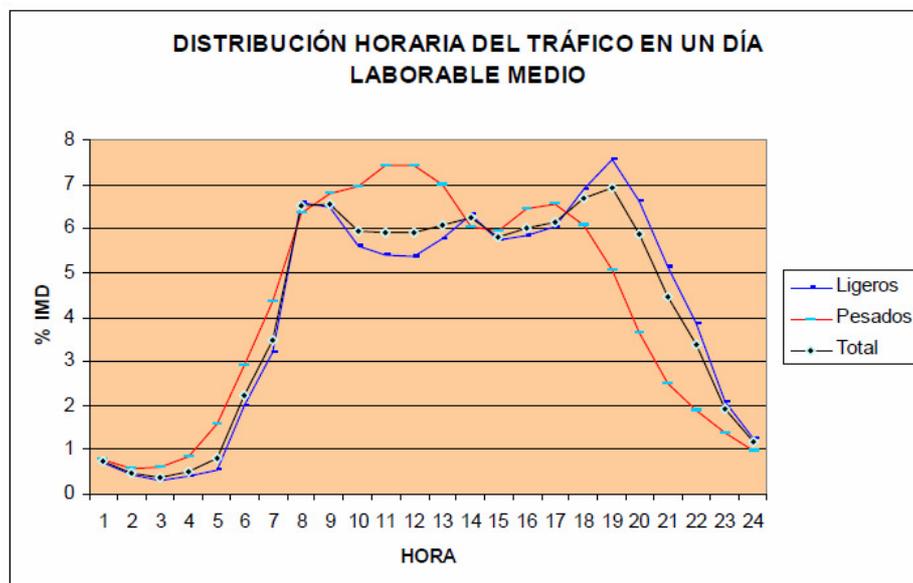
Se realizan las calibraciones con el Calibrador sonoro B&K 4231, que emite 94dB en la frecuencia de 1KHz.

Finalmente, se toman instantáneas del lugar para poder ofrecer información visual junto con los resultados acústicos utilizando una cámara fotográfica digital (Olympus) y un trípode.

3.2.3.2 Protocolo de medida

El primer paso, es estimar qué fuentes de ruido afectan a cada punto y si es posible caracterizarlas, por ejemplo midiendo su potencia [Ref. 25]. Acto seguido, se procede al conteo de coches de las calles más influyentes de modo que no varíe en más de 2h el horario entre el conteo y la toma de datos (todo esto entre las 10.30h y las 13h) tiempo y horario en el que se estima que el tráfico se mantiene más constante para un día laborable.

Varios estudios demuestran que en un día laborable, la distribución horaria del tráfico es del tipo que se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica2. Distribución horaria del tráfico en un día laborable

En la gráfica observamos como a primeras horas del día la densidad de tráfico va aumentando progresivamente, hasta llegar a una hora en la que se estabiliza (más o menos se mantiene constante). Para las últimas horas del día, ese flujo va decreciendo.

El segundo es agrupar a la gente que realizará el estudio y montar el dispositivo en el primer punto. Se toma la medida al mismo tiempo que la gente contesta la encuesta. La



medida dura el tiempo suficiente que caracterice el lugar y en el que las personas hayan podido completar su encuesta (se estima que entre 3 y 5 minutos).

Finalmente, se toman instantáneas de 360° sobre cada punto de medición, con el fin de ofrecer también información visual en el informe y para ofrecer dicha información en futuros estudios ha realizar desde el laboratorio.

Nos equipamos con el sonómetro Larson Davis 8.24 conectado a un instrumento de grabación en formato DAT, con los que son medidos todos los parámetros relacionados con las propiedades físicas del sonido (sonómetro) y queda grabado el entorno sonoro del lugar (dispositivo DAT). También llevamos el Analizador 2900 de la misma marca, conectado a un micrófono que colocamos sobre un trípode a una altura de unos 1,2m. con este mismo trípode, se hacen la fotografías alrededor de cada punto de medición. Con el analizador se calcula el parámetro Loudness. Este utiliza el método de Zwicker para hacerlo que se basa en seguir los siguientes pasos:

Paso 1: Calcula los gráficos a tiempo real de la frecuencia y el nivel sonoro en 1/3 de octava, es decir, el gráfico contiene curvas escalonadas designadas por números que se refieren a los niveles L_T en bandas de 1/3 de octava. Ese gráfico puede calcularse en campo directo (GD) o difuso (GF). Se selecciona el gráfico que corresponda al tipo apropiado de campo sonoro y que incluya el valor más alto medido en bandas de 1/3 de octava, en nuestro caso es más adecuado seleccionar el gráfico correspondiente al campo difuso, ya que se sitúa en el interior de una ciudad y rodeado de edificios, incluso integrados en el propio parque. Dibuja los niveles medidos en las bandas por encima de 280Hz como líneas horizontales de forma que las frecuencias de corte de las bandas de 1/3 de octava corresponden a las abscisas del gráfico y los niveles medidos corresponden a la numeración de las curvas escalonadas.

Debido a que las bandas críticas son más anchas que 1/3 de octava a bajas frecuencias, el sistema agrupa las bandas de baja frecuencia para obtener los niveles correspondientes de banda crítica antes de llevarlas al diagrama.

Paso 2: Cuando los escalones formados por estas líneas horizontales se elevan al aumentar la frecuencia, los niveles horizontales adyacentes se unen por líneas verticales a la abscisa común.

Cuando la altura del escalón en la banda de frecuencia inmediatamente superior es más baja, la unión se hace mediante una curva inclinada hacia abajo obtenida por interpolación entre las curvas de trazos del gráfico empezando por el extremo de la derecha de la línea horizontal. El área encerrada por toda la figura escalonada así obtenida corresponde a la sonoridad total.

Paso 3: El área delimitada se transformará en un rectángulo de la misma área con una base igual al ancho del gráfico, por estimación. La altura del rectángulo proporciona directamente el nivel de sonoridad en fonios (GF ó GD) en las escalas a ambos lados del gráfico. La sonoridad correspondiente en sonios (GF ó GD) se leerá directamente en la segunda escala. El analizador muestra directamente el resultado de todo el proyecto indicando el Loudness tanto en sonios como en fonios (Nivel de sonoridad), además ofrece va calculando el gráfico a tiempo real mostrando al finalizar la medida el gráfico correspondiente a los últimos momentos.[Ref.1 y 2]

Además, llevamos las encuestas diseñadas para el estudio, impresas por ambas caras en un folio A4, tanto en castellano como en euskera (también las llevamos en inglés pero no se precisó su uso). Se proporciona a los participantes en el estudio una pequeña carpeta aprovisionada con todas las encuestas a completar, así como bolígrafos y lapiceros.



Esto mismo se hace para el estudio en día festivo con la diferencia de que este se hace por la tarde cuando más gente puede haber en el parque. Además, esta vez no realizamos fotografías considerando que la arquitectura del parque no va a variar y teniendo en cuenta que las condiciones meteorológicas son similares en ambas mediciones. Una vez más los datos sobre el flujo de tráfico se obtienen en un espacio menor de 2 horas respecto de la realización de las mediciones.

3.2.3.3 Análisis en laboratorio

El análisis en laboratorio se basa en el cálculo de los parámetros que se mencionan en el siguiente apartado y el análisis de los resultados obtenidos de las encuestas. Además, de la relación existente entre ambos datos.

Para ello, se siguen los ejemplos de estudios e investigaciones anteriores que nos ayudan a evaluar nuestro entorno urbano.

Análisis de los parámetros físicos del sonido

Siguiendo patrones de otros estudios, se calculan los siguientes parámetros:

- LAeq como indicador del nivel general de inmisión de sonido en ese punto.
- LAmax y LAmin como información complementaria del parámetro anterior
- Percentiles (L10, L50 y L90), se calcularán L10-L90 y N10-N90 como indicadores de la variabilidad del entorno sonoro en cada punto. Se escogen estos percentiles por ser los mejores indicadores del ruido de fondo, nivel de ruido medio registrado y niveles eventuales respectivamente. Escoger niveles más extremistas como podrían ser L5 y L99, sería aproximarse más a la estimación de diferencia entre niveles máximos y mínimos.
- Se calculará (LCeq-LAeq) como indicador de la proporción relativa de sonido de baja frecuencia. La ponderación C ajusta las mediciones para que coincidan con el límite de sensibilidad del oído humano en sus diferentes frecuencias, dando una sobre importancia a las bajas frecuencias. Por lo tanto, una medida ponderada C representa cómo oíría el oído humano una señal sin ponderar a niveles cercanos a su umbral de dolor. A la hora de hacer corrección de un nivel sonoro equivalente por componentes de bajas frecuencias (K_f) se tiene en cuenta la diferencia entre los niveles ponderados C y los ponderados A de manera que si está es menor o igual a 10dB la corrección es de +0dB, si está entre 10 y 15 dB es de +3dB y si es mayor de 15dB la corrección es de +6dB. [Ref.9]
- Espectro en frecuencia, para saber la composición espectral de cada entorno.
- Multi-espectro, calcula el nivel sonoro dependiendo del instante temporal y la frecuencia.
- Loudness medio como indicador objetivo y numérico de la percepción subjetiva que puede utilizarse también como indicador de molestia. También se tendrá en cuenta el N10 como indicador de la percepción de nivel de ruido en cada punto.



Los primeros parámetros se obtienen de las mediciones realizadas con el sonómetro mientras que el multi-espectro y el Loudness o sonoridad los calcularemos utilizando el analizador de señales para Pulse y el Analizador 2900B junto con el Pulse respectivamente.

El sonómetro Larson Davis 8.24, es configurado de manera que queden registrados: el nivel equivalente, niveles máximo y mínimo y los parámetros estadísticos (percentiles) L5, L10, L50, L90 y L99 todos ellos ponderados 'A' y los niveles equivalentes promediados en 1/3 de octava sin ponderar. Se promedian todos los cálculos en intervalos de 5 segundos, tiempo máximo considerado en el que el paisaje sonoro se mantiene más o menos constante.

El instrumento es calibrado a 94dB en la frecuencia exacta de 1KHz.

Pulse es un dispositivo que trabaja a tiempo real y puede realizar multi-análisis, lo que significa que realiza análisis FFT, 1/n octava (CPB), órdenes y banda ancha, de manera simultánea en el mismo o diferentes canales/señales mientras se van mostrando los resultados, lo que permite su validación inmediata. Además, está basado en PC lo que significa que nos permite procesar la señal desde el ordenador aprovechando toda su capacidad y rendimiento. El análisis se realiza mediante el software de Pulse, el LabShop. Este programa, se organiza en cuatro componentes: configuración, medida, función y visualización. Desde la configuración se especifican las conexiones físicas (entradas y salidas) del dispositivo Pulse, el front end. En la componente de medidas se configura el tipo de procesamiento que se va a realizar y este puede ser el punto clave, donde son configurados parámetros como sensibilidad, tipo de análisis, tipo de resultados que necesitas obtener, etc. [Ref.12]

Se conecta el pulse al dispositivo de grabación DAT para que registre las grabaciones realizadas en el trabajo de campo. El primer paso, es hacer la calibración entre el pulse y las grabaciones, para ello, se realiza una grabación de un tono de 1KHz con el calibrador que marca 1KHz= 94dB (B&K 4231) y al entrar esta en el Pulse se ajusta su sensibilidad (a 145 mV/Pa en nuestro caso) de modo que se registre un nivel de 94dB.

El siguiente paso, es ir registrando cada pista, cada una correspondiente a un entorno sonoro del mismo parque, mientras que capturamos el multi-espectro. Gracias a que el procesamiento de señales se hace a tiempo real, oímos la grabación a la vez que se dibuja el multi-espectro, lo que nos permite identificar cada sonido son su composición espectral y su influencia en el paisaje sonoro que se está analizando.

Por último, es calculado el Loudness. Debido a la complejidad del parámetro se decide medirlo de dos formas diferentes con el fin de concluir cuál es la más eficaz y óptima. Por un lado, es calculada la sonoridad (o Loudness) utilizando el analizador 2900B. Este modelo de analizador SLM, realiza dos funciones de medición al mismo tiempo: medición del nivel sonoro y análisis frecuencial a tiempo real.

Como medidor del nivel sonoro digital, calcula simultáneamente el nivel de presión sonora correspondiente a los siguientes detectores: RMS Show, RMS Fast, impulsivo y de picos. Como analizador a tiempo real, puede realizar en análisis usando filtros de octava o 1/3 de octava o FFT usando 100, 200, 400 u 800 líneas de resolución de uno o dos canales.[Ref. 23]

Se configura de manera que se realiza un filtrado de la señal en 1/3 de octava largo en modo standard, también se configura de manera que se realiza un promediado lineal repetitivo cada 2,5s, tiempo mínimo permitido por el analizador, y haciendo a su vez, un análisis espectral de manera que el dispositivo auto guarda mediciones en el mismo intervalo de tiempo durante 3 minutos. Para el cálculo del loudness no se permiten ponderaciones y se considera el campo de medición difuso por ser un espacio urbano. Las



mediciones se toman con un micrófono omnidireccional sin polarizar conectado en el este caso el dispositivo DAT.

Por otro lado, se calcula la sonoridad a partir de las grabaciones en formato .wav obtenidas de la conversión de las grabaciones realizadas con el dispositivo DAT a este formato. Estas grabaciones son analizadas mediante el software Sound Quality Type 7698 del Pulse. Se trata de un software avanzado e independiente que permite registrar, analizar, editar y reproducir binaural y monoauralmente sonidos producidos por señales de audio. Además, puede grabar hasta cuatro canales mediante una tarjeta de sonido de este número de canales y puede importar señales ya registradas, como se ha hecho en este caso. Su principal ventaja es que proporciona un análisis completo de la calidad sonora.

Una de las características más importantes que nos ofrece es la potente opción de análisis de sonoridad mediante la formulación de Zwicker (formulación explicada en el apartado anterior). La sonoridad de Zwicker es la herramienta más importante para determinar objetivamente la calidad del sonido. Se trata de entender la sensación auditiva del oído humano mediante una correcta ponderación de las diferentes partes que componen la señal sonora. El Sound Quality Type nos permite analizar el Loudness mediante su promediado en función de Barks o Frecuencia, espectro del contorno del loudness, el multi espectro de la sonoridad en función temporal y frecuencial, la sonoridad total frente al tiempo y la sonoridad instantánea en función del tiempo. Además, también nos muestra los máximos y mínimos así como tres estadísticos que elegimos nosotros mismos. Para más información ver [Ref. 24]

Se configura el Software para el análisis de la sonoridad de nuestras señales de audio seleccionando un solo canal, una frecuencia de muestreo de 44100Hz, emisión en campo difuso y se configura para que haga el análisis desde el segundo 5 hasta el 180. elegimos el transductor 4100 por ser el que más se asemeja al utilizado en el trabajo de campo. No se selecciona ninguna condición de amplificación y tampoco ningún filtrado previo.

En primer lugar, importamos la señal de calibración, grabada directamente en el DAT utilizando un calibrador de una señal de 1KHz a 94dB. La idea es importar esa señal para ajustar la ganancia del software de manera que el resto de grabaciones queden calibradas. Es comprobado que la señal ya está calibrada y por lo tanto no debemos ajustar la ganancia y se procede directamente al análisis de la sonoridad.

Se hace un análisis de la sonoridad global en función frecuencial, la sonoridad instantánea frente al tiempo y la sonoridad media, máxima y mínima y los estadísticos N10, N50 y N90. Es escogido el análisis de la sonoridad instantánea frente al tiempo aún no estando estandarizado, porque se tiene en cuenta tanto el enmascaramiento frecuencial como el temporal y para casos de mediciones de larga duración, como puede ser este, resulta más apropiado que el análisis de la sonoridad total que solo tiene en cuenta el enmascaramiento frecuencial.

Análisis de la percepción subjetiva

Se pretende representar la percepción global del entorno sonoro del Parque de la Florida, situado en la ciudad de Vitoria-Gasteiz, de una manera muy visual, mediante un espacio bidimensional cuyos ejes representan el nivel de agrado y la variabilidad del entorno sonoro y por tanto, sus coordenadas la percepción que tienen los ciudadanos de ese entorno sobre esas dos componentes.

Se toma como referencia un trabajo publicado por el grupo de trabajo ‘Soundscape support to health’ en el que se explica de manera general la implementación de un modelo que identifica las componentes más representativas del paisaje sonoro y su manera de evaluarlas.



Realizan un estudio con un grupo de 100 universitarios de entre 19 y 54 años de edad, seleccionando 50 fragmentos de 30 segundos cada uno, de grabaciones correspondientes a paisajes sonoros de Estocolmo registrados anteriormente, entre ellos; Patios urbanos, Autopistas, Calles peatonales, Patios de colegios, Parques urbanos, Plazas y mercados, Otras calles, Parques suburbanos, Áreas residenciales y Áreas recreativas suburbanas. Para que los resultados del estudio sean óptimos, los fragmentos sonoros, deben tener características muy diferentes. Además, para considerarlos paisajes sonoros, deben componerse de más de un evento sonoro e identificar el lugar al que pertenecen.

Antes de someterlos a encuesta, los fragmentos son analizados por expertos. Estos determinan cuál es la fuente predominante en cada uno (Fuente tecnológica, natural o humana), además de realizar un pequeño análisis acústico sobre los niveles registrados:

- LAeq y N10 como indicadores del nivel general de emisión de sonido en ese punto.
- Se calculará L10-L90 y N10-N90 como indicadores de la variabilidad del entorno sonoro en cada punto.
- Se calculará (LCeq-LAeq) como indicador de la proporción relativa de sonido de baja frecuencia.

Por otro lado, se escoge un grupo de 116 atributos en escala, para evaluar los diferentes paisajes sonoros. Estos atributos son afectivos y no descriptores del entorno ya que se consideran estos últimos mas apropiados para la caracterización de fuentes de ruido concretas que entornos complejos.

Metodología para la selección de los atributos

Se escogen 189 adjetivos referentes a atractivo fotográfico en suecia [Ref. 13] luego se buscan sus sinónimos y antónimos en el campo de la acústica usando diccionarios y publicaciones [Ref. 14] para finalmente seleccionar (30 profesionales familiarizados con el estudio de Paisaje Sonoro) los adjetivos que mejor definen los paisajes sonoros en general. Se seleccionan así los 116 atributos mencionados anteriormente.

Procedimiento

Con el fin de acortar el tiempo de experimento, cada miembro evaluará sólo 5 de los 50 fragmentos siguiendo una selección aleatoria, así cada paisaje sonoro será evaluado por un total de 10 participantes.

Cada participante escala un total de 140 atributos (los 116 mencionados anteriormente, más 24 replicas utilizadas para asegurarnos de que las respuestas son fiables). Los atributos se presentan en una escala dividida en 100mm donde el final representa el 100%, totalmente de acuerdo, y el principio representa el 0%, totalmente desacuerdo.

Se organizan además, en 10 folletos diferentes con un orden aleatorio y diferente para cada uno. Así los folios con los atributos y los fragmentos son distribuidos siguiendo los siguientes criterios:

- 1) No se permite evaluar un solo fragmento sonoro dos veces con el mismo orden de escalada de atributos, es decir, cada fragmento se escalará 10 veces con un orden de escala de atributos diferente.
- 2) No se permite que una misma persona tenga más de una escala de atributos en el mismo orden, es decir, para cada una de las 5 valoraciones tienen un orden de la escala de atributos diferente.



- 3) No se permite que dos personas evalúen los fragmentos en un mismo orden de presentación.

Resultados

Para comprobar la veracidad de los resultados, se calcula la correlación mediante el coeficiente de Pearson (En estadística, el **coeficiente de correlación de Pearson** es un índice que mide la relación lineal entre dos variables aleatorias cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables) para los 24 atributos replica. Si el valor de la correlación es mayor de 0,5, se consideran óptimos los resultados obtenidos de las encuestas.

Se calcula la media aritmética para cada atributo para los 50 fragmentos, matriz 50X116. Todos los pares de números son correlacionados mediante el coeficiente de Pearson, obteniendo una matriz 116X116. Se hace un análisis de las componentes principales, llegando a la conclusión de que las componentes 1,2 y 3 que agrupan varios atributos, explican un 50, 18 y 6 % de la varianza del conjunto de datos, esto significa que en conjunto representan el 74% de la varianza total. Por lo que podemos decir que el espacio sonoro puede ser representado por estas tres componentes a las que se les atribuyen los siguientes adjetivos:

- Componente I: **Nivel de Agrado:** Incomodo, Cómodo, Atractivo, Desagradable y Acogedor.
- Componente II: **Variabilidad:** Variado, Animado, Monótono, Vivo y Móvil.
- Componente III: **Familiaridad:** Vulgar, Común, Familiar, Raro y Real.

Esto se deduce tras representar los atributos en una gráfica circunfleja, donde cada punto representa la carga vectorial de la componente. La figura se divide en tres zonas según la varianza de cada atributo. Así se asigna a cada atributo la componente a la que representa. [Ref.15]

Cabe destacar que muchos atributos no se agrupan alrededor de los ejes de las principales componentes pero sí lo hacen en el perímetro del espacio circular en un orden lógico. Por ejemplo, el atributo excitante se sitúa en un lugar de combinación entre agradable y variado (orden lógico ya que se entiende que algo excitante resulta agradable a la vez que variado).

A continuación, se muestra el modelo circunflejo [Ref. 16] en el que se sitúan los atributos.

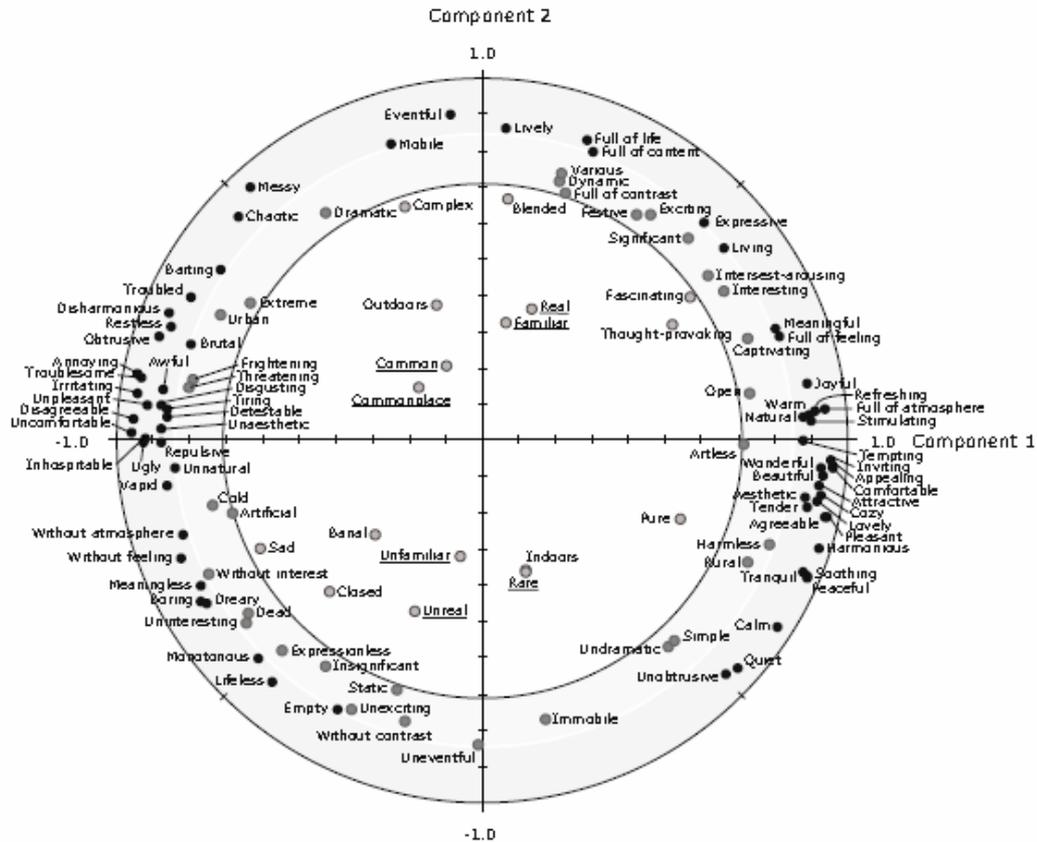


Fig. 16 Modelo circunflejo de las cargas de los atributos asociadas a las componentes principales

La fiabilidad de los resultados es comprobada mediante la correlación de las respuestas con el coeficiente de Pearson, para cada componente.

Una vez comprobado que la utilización del modelo circunflejo diseñado por el grupo de trabajo sueco, es realizado el diseño de la encuesta y su posterior modelo de cuantificación.

Diseño de la encuesta

La encuesta fue diseñada a partir de dos patrones, por un lado, la encuesta realizada en estudios italianos y por el otro, la diseñada por miembros del departamento de psicología de la universidad de Estocolmo y el Instituto de Medicina Medioambiental de Karolinska [Ref. 17]

El primer paso, fue traducir correctamente cada encuesta al castellano, intentando evitar palabras más técnicas y complejas como paisaje sonoro, para facilitar la comprensión de las preguntas.

El segundo paso, fue analizar la manera de obtener una encuesta completa y lo suficientemente breve como para conseguir que la gente colabore con mayor facilidad, entendiendo que la brevedad de la encuesta influye en un alto porcentaje, y con la que podamos obtener la información necesaria para poder evaluar los resultados.

Para esto, dado que contábamos con la colaboración de Östen Axelsson, integrante del grupo de trabajo sueco, decidimos seleccionar de su encuesta la parte referida a las preguntas más técnicas relacionadas con el sonido en sí, y completarla con las preguntas referidas a los datos personales del encuestado, que se incluían en la encuesta italiana.



Todo esto, cumpliendo con la norma ISO/CD 15666 'Acoustics-assessment of noise annoyance by means of social and socio acoustic surveys'. [Ref. 18]

Metodología para la cuantificación

La encuesta que vamos a realizar se compone de 10 preguntas, 5 de ellas son preguntas personales, totalmente abiertas, sólo una es totalmente cerrada (si/no) y el resto se evalúan con escala verbal de 5 puntos, tal como se indica en la norma.

Existen tres tipos de respuestas para este tipo de preguntas, que para el análisis posterior se cuantificarán cada una de la siguiente manera:

Preguntas relacionadas con la descripción general del entorno

Muy bueno	Bueno	Ni bueno, ni malo	Malo	Muy malo
<input type="checkbox"/>				
(4)	(3)	(2)	(1)	(0)

Nada	Poco	Algo	Mucho	Completamente Dominante
<input type="checkbox"/>				
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)

Preguntas relacionadas con la evaluación de los atributos del entorno

Totalmente De acuerdo	Bastante de acuerdo	Ni de acuerdo Ni desacuerdo	Poco de acuerdo	Totalmente desacuerdo
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
(-1)	(-0,5)	(0)	(0,5)	(1)

Por lo tanto, se cuantifica en una escala sencilla de 0-4 las escalas verbales relacionadas con la descripción general del entorno y las fuentes de ruido y con una escala de (-1, 1) la escala verbal concerniente a la evaluación de los atributos asignados al entorno.

Metodología para la caracterización del paisaje sonoro a partir de la encuesta.

Se han recogido diferentes estudios realizados por el grupo de trabajo sueco donde desarrollan herramientas para la evaluación de la calidad del paisaje sonoro, criterios para su clasificación y además, demuestran que dichas herramientas son fiables [Ref. 19, 20 y 21]

Tras analizarlos y razonarlos decidimos seguir su ejemplo ya que se obtienen resultados óptimos y la presentación de los mismos resulta muy atractiva y sencilla.

- El primer paso, es saber si el paisaje sonoro es considerado bueno o no. El criterio a seguir es que al menos el 50% de los encuestados lo considere como 'Bueno', y además, que cuantificando la escala verbal, tal como se muestra en el apartado de cuantificación y sacando el promedio, este tenga un valor igual o superior a 3.
- El segundo paso, es determinar cuál es la fuente de ruido predominante en el entorno. Para ello, se calcula el promedio de las respuestas de los encuestados y en función del valor con que se valora cada fuente esta será más o menos



predominante. Por ejemplo, si el promedio del ruido de tráfico es de 3,5 (recordemos que la escala va de 0 a 4) será una fuente de ruido muy importante en la percepción sonora de ese punto.

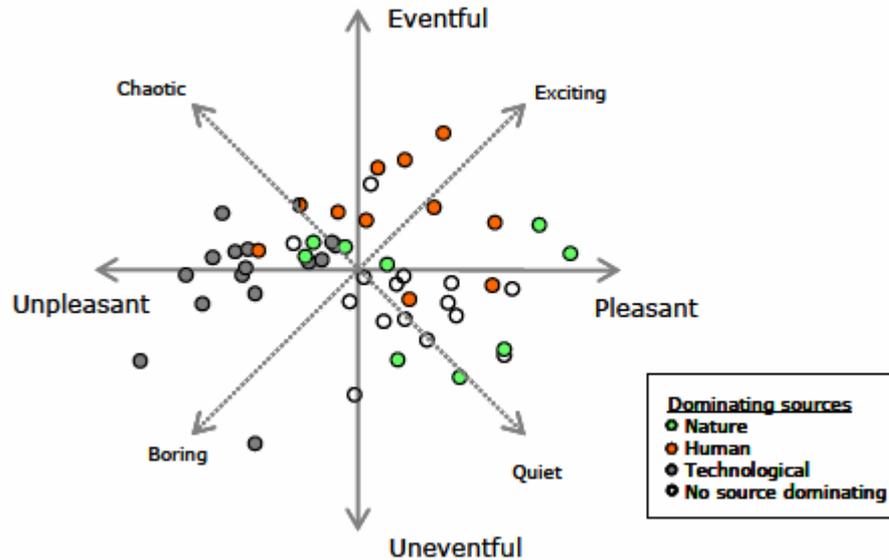
- El tercer paso y tal vez el más complejo, es evaluar los atributos por los que el encuestado es preguntado. Para ello, se seguirá la siguiente fórmula, diseñada y verificada por el grupo de trabajo mencionado anteriormente, así como su propuesta de representar el paisaje sonoro como una composición bidimensional, donde las dos dimensiones se traducen en nivel de agrado (eje x) y variabilidad (eje y).

	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Poco de acuerdo	Totalmente desacuerdo
Agradable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Caótico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Excitante,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Monótono	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Calmado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Molesto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Variado	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aburrido	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

$$\text{Nivel de Agrado(eje x)} = \frac{[(\sqrt{2}) * (\text{Agradable} - \text{Molesto})] + (\text{Calmado} - \text{Caótico}) + (\text{Excitante} - \text{Aburrido})}{(4 + \sqrt{8})}$$

$$\text{Variabilidad (eje y)} = \frac{[(\sqrt{2}) * (\text{Variado} - \text{Monótono})] - (\text{Calmado} - \text{Caótico}) + (\text{Excitante} - \text{Aburrido})}{(4 + \sqrt{8})}$$

De manera que el paisaje sonoro queda definido en una gráfica de 2 ejes principales y otros 2 que definen otros 4 atributos por defecto, tal como vemos en la siguiente figura.



Gráfica 3. Representación de los paisajes sonoros de manera bidimensional

De este modo, el paisaje sonoro queda representado según sus atributos [Ref.15]

- El cuarto paso consiste en evaluar si el paisaje sonoro cumple las expectativas del oyente o no, ya que si no lo hace en la mayoría de casos, habría que plantearse la repetición de la medida en otro momento. Siempre previo análisis de las causas por las que no se cumplen etc.
- El quinto y último punto consistiría en evaluar la percepción visual de una manera sencilla. Simplemente evaluando si el paisaje visual es ‘Bueno’ o no y la influencia que esto pueda tener en la percepción sonora.

Una vez caracterizado el paisaje sonoro según la percepción subjetiva de cada encuestado, el último paso sería relacionar dichos resultados con los parámetros físicos y psicoacústicos, el Loudness en nuestro caso, del sonido.

Análisis de la relación entre las principales componentes, las propiedades acústicas y las fuentes de ruido

Una vez obtenidos los resultados de las mediciones, lo más interesante es relacionar los parámetros puramente físicos del sonido con la percepción subjetiva que se tiene de él, para comprobar la importancia de la percepción en la evaluación de la calidad de un entorno sonoro.

Como se ha venido haciendo, tomamos como base para realizar nuestro análisis entre los diferentes parámetros, los resultados obtenidos en otros estudios [Ref. 19] en los que se llegan a las siguientes conclusiones:

- La primera componente, descrita en apartados anteriores, está negativamente relacionada con el nivel global, la variabilidad y los sonidos provenientes de fuentes tecnológicas como podría ser ruido de tráfico. Positivamente, pero estableciendo un vínculo bastante débil, se relaciona con las fuentes de ruido Humanas (conversaciones...) y Naturales (cantos de pájaros). No se consigue



establecer relación entre el nivel de agrado y la proporción relativa de sonidos de baja frecuencia existente en el entorno.

- La segunda componente, variabilidad, tiene una correlación positiva con el nivel global registrado, la variabilidad (L10-L90), los sonidos humanos y los naturales. Con estos últimos no se correlaciona tan claramente como con los primeros. Por otro lado, la variabilidad y la proporción relativa de sonidos a bajas frecuencias del paisaje sonoro son inversamente proporcionales, es decir, cuanto mayor componente en baja frecuencia menor será la variabilidad percibida.
- La tercera componente, familiaridad, no establece ningún vínculo fuerte con ninguno de los parámetros ni fuentes de ruido, esto se debe a su baja varianza (de entorno al 6%). Por ello, esta componente no ha de tenerse en cuenta en estudios relacionados con paisajes sonoros, a menos que el objetivo sea comparar entornos de grandes diferencias culturales.

Lo más destacable, es la clara relación que se establece entre la molestia, el nivel global y las presencia de fuentes de ruido tecnológicas, ruido de tráfico más concretamente.

3.2.4 RESULTADOS O CÁLCULOS

3.2.4.1 Resultados para el día laborable

Participan en el estudio del parque de la Florida 10 personas en su mayoría mujeres de entre 22 y 52 años, teniendo la mayoría de encuestados entre 23 y 29 años. Todos tienen estudios mínimos y todos trabajan excepto uno que es estudiante.

Las mediciones duraron alrededor de 3 minutos.

Primera medición: punto M1, frente al parlamento.

La primera medición es realizada frente a el parlamento vasco situado al borde de la calle Becerro de Bengoa, cerca de la parada del tranvía.

La gran mayoría de los encuestados afirman pasar por este lugar cuando se dirigen a otro y unos pocos encuestados también lo hacen para caminar o encontrarse con otras personas.

En cualquier caso el 80% coincide en pasar para dirigirse a otro lugar por lo que deducimos que es lugar o punto de paso.

Además, se cubren todas las franjas horarias (mañana, mediodía, tarde, anochecer y noche) en las que la gente afirma acudir al lugar.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
55,73	52,06	60,64	57,90	55,15	52,70	16,1

Tabla5. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

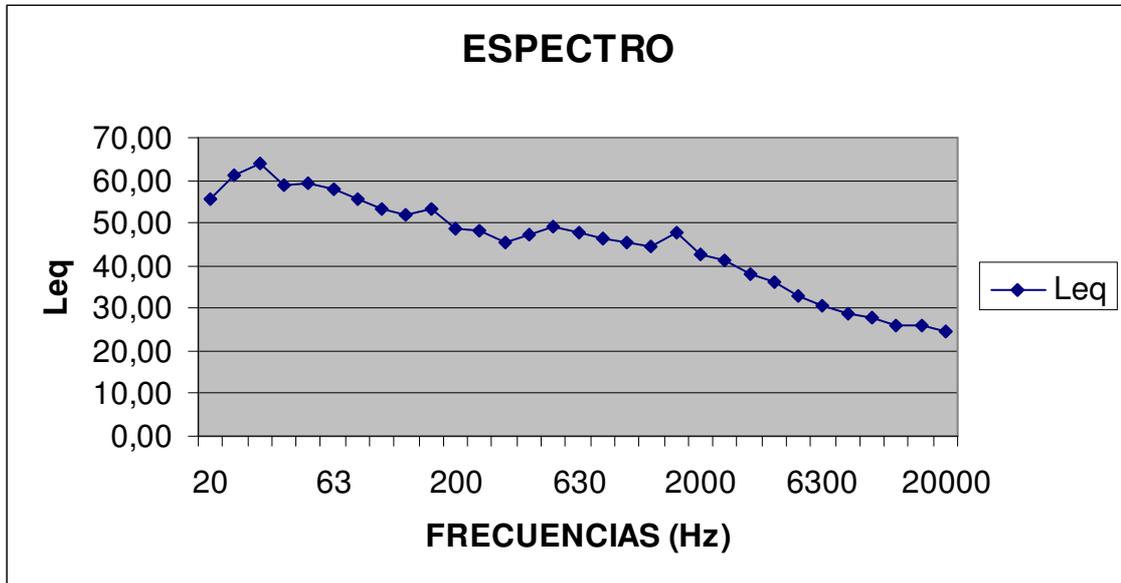
VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	5,20	6,1

Tabla6. Parámetro de variabilidad calculado

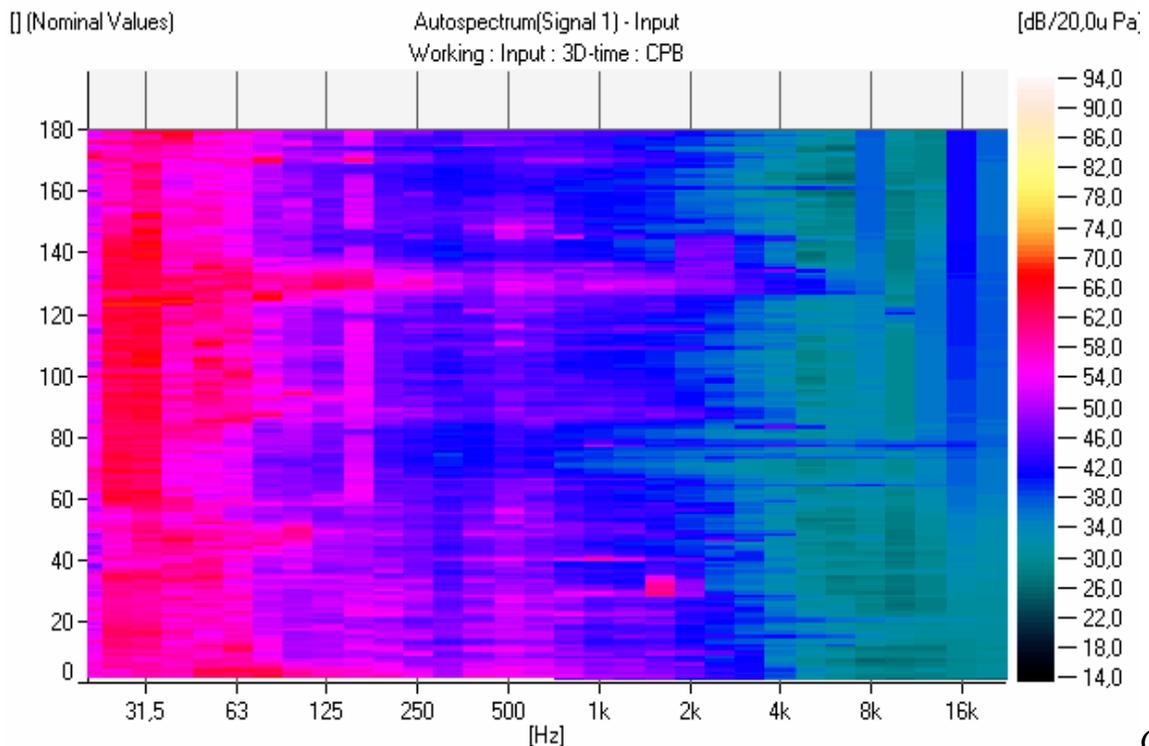


LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
11,08	55,83	66,91

Tabla7. Indicador de la proporción relativa de sonido de baja frecuencia calculado



Gráfica4. Espectro en el punto M1



Gráfica5. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenida en Pulse correspondiente al punto de medida M1

Se observa como los niveles sonoros más altos son registrados a las frecuencias más bajas durante toda la medición. Esto significa que hay un sonido más o menos constante que emite un nivel de alrededor de 61dB/20uPa a bajas frecuencias (alrededor de 63 Hz (31,5 Hz)).



Si reparamos a las grabación obtenida por el dispositivo DAT podemos escuchar el ruido de tráfico viario como sonido de fondo más o menos constante que también se acentúa en ciertos momentos (como el paso de un vehículo pesado) y esto hace que los niveles de ese ruido de fondo aumenten en ciertos momentos tal y como se aprecia en las columnas correspondientes a las bajas frecuencias. Los pasos de vehículos se observan en la gráfica cuando aumentan los niveles en un rango horizontal, por ejemplo, entre los segundos 120 y 140 se observa una línea con niveles más altos (más roja) para la mayoría de frecuencias bajas y medias, porque el tráfico ha aumentado en esos momentos. También influyen el hablar de la gente y los gritos en el aumento de niveles para las bajas y medias frecuencias. Además, entre los segundos 20 y 40 se perciben claramente la sirena del tranvía que eleva el nivel sonoro y que genera una columna rosada a 1600 Hz aprox.

Los picos más destacables se presentan en las frecuencias de 31,5 Hz, 160 Hz y 1600 Hz, esto puede deberse a la existencia de tonos más o menos puros en la grabación como podrían ser los sonidos de las sirenas (tranvía y semáforo) o el hablar de la gente que típicamente se sitúa entre 100 y 300 Hz dependiendo de si el hablante es hombre o mujer (la voz masculina tiene un tono fundamental de entre 100 y 200 Hz mientras que la femenina es algo más aguda entre 150 y 300 Hz).

Parámetros sobre la percepción subjetiva

El entorno sonoro, de manera general, no es considerado como ‘Bueno’ ya que el promedio de las valoraciones obtenidas es <3 aunque el 50% si que lo valora como ‘Bueno’, no cumple el criterio completamente, por lo que de manera general se describe ambiente sonoro como ‘Ni bueno, ni malo’.

Predominan en el lugar el ruido de tráfico y el producido por los humanos (conversaciones, pasos y paso de bicicletas), entre ellos cabe destacar la mención a la sirena del tranvía y a la frenada de autobuses. Por otro lado, apenas se perciben sonidos naturales.

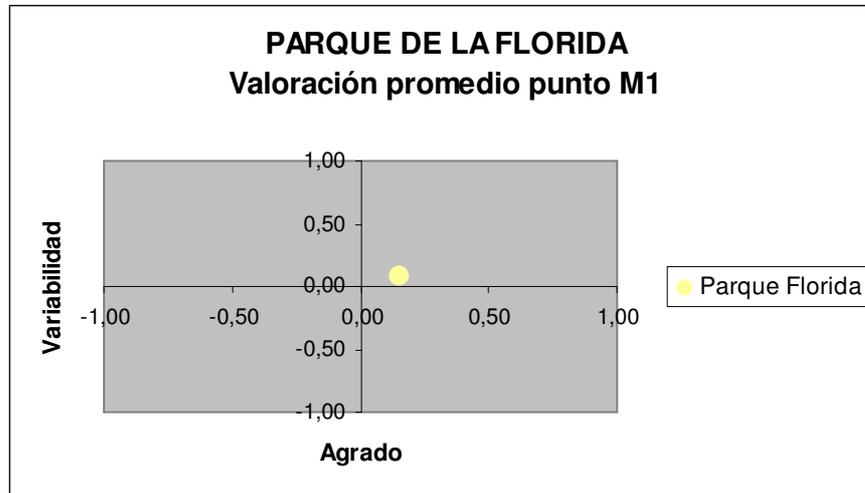
A continuación se muestra la tabla con los resultados obtenidos de las encuestas una vez realizada la cuantificación tal como se indica en apartados anteriores.

General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	1	1	1	2
3	3	3	2	3
3	3	3	0	3
3	3	2	1	0
3	2	3	1	2
4	1	2	1	0
2	2	3	1	2
3	3	3	2	3
2	3	3	0	2
3	1	2	0	0
1	2	3	2	1
3	1	2	0	0
2,8	2,1	2,5	0,9	1,5

Tabla8. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes de ruido

Una vez aplicada la fórmula se considera este espacio un sitio agradable y tímidamente variable, por lo que también será algo más excitante que aburrido.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica6. Representación bidimensional de la percepción del entorno sonoro para el punto de medida M1

Agradabilidad(X)	0,15
Variabilidad (Y)	0,08

Tabla9. Coordenada para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

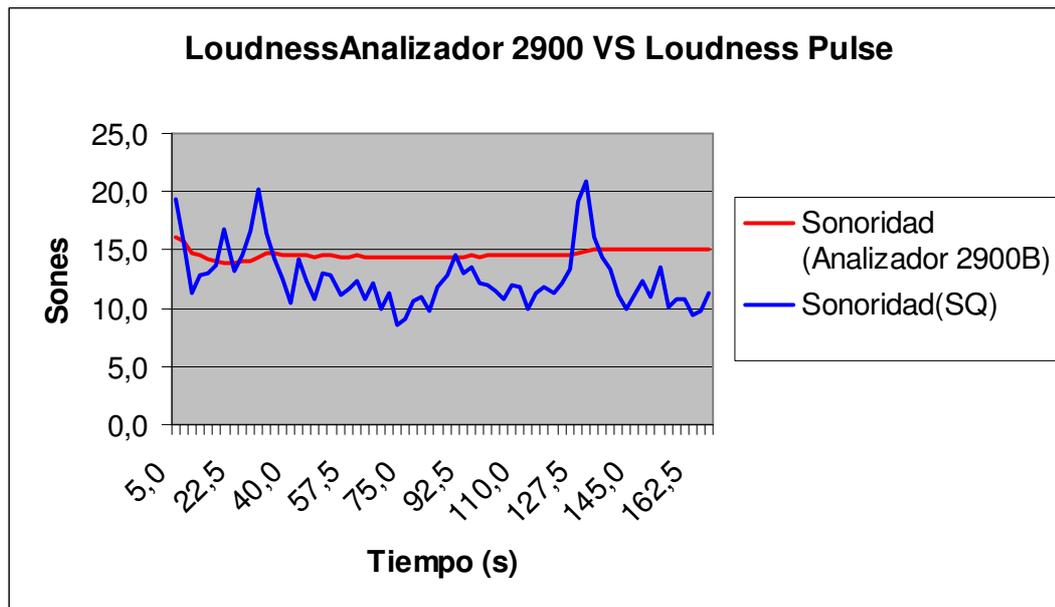
Parámetro psicoacústico

La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente (LAeq= 58 dBA) es de unos 20 dB. Mientras que las diferencias entre el Loudness medido con el analizador 2900 y el medido con el SQ son casi de 2 sones. Diferencia más o menos insignificante y se debe a que el método de calculo utilizado por uno y por otro no es el mismo. Esto mismo ocurrirá para todas las mediciones restantes.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	14,65	12,50
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	78,73	76,44

Tabla10. Valores globales del Loudness para la medida M1

A continuación se muestra una gráfica que muestra la sonoridad medida por el analizador y la medida con el PULSE, en función del tiempo:



Gráfica7. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Se observa como a consecuencia de las diferencias en el proceso de cálculo, para la sonoridad medida con el 2900, el espectro es mucho más plano, salvo en los primeros segundos que es cuando aún se tiene que estabilizar el valor. Sin embargo la sonoridad del PULSE es mucho más variable en el tiempo y presenta picos que se pueden asociar con los diferentes eventos sonoros que presenta el Paisaje Sonoro.

Los picos más destacables en la sonoridad se dan en los segundos 30 y 130 donde se sobrepasan los 20 sonios. Estos picos se relacionan con el pitido proveniente del tranvía y el paso de un vehículo pesado cerca del punto de medición. Aunque los sonidos presentan características diferentes, el pitido emite su mayor energía a una frecuencia media y el vehículo lo hace a una muy baja (alrededor de 40Hz), ambos sonidos provocan un aumento considerable en el nivel sonoro.

El nivel de sonoridad mínimo, se registra en el segundo 72,5 cuando la calma es total y se percibe sólo el cantar de unos pajarillos.

Segunda medición; punto M2, frente a la biblioteca

Esta segunda medición es realizada frente al centro cívico Ignacio Aldekoa donde se sitúa una de las bibliotecas municipales más importante.

Todos los encuestados afirman pasar por este lugar cuando se dirigen a otro y unos pocos encuestados también lo hacen para caminar o encontrarse con otras personas y leer un libro. Se deduce que es un lugar de paso.

Además, se cubren todas las franjas horarias (mañana, mediodía, tarde, anochecer y noche) en las que la gente afirma acudir al lugar.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:



LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
56,22	53,06	63,16	57,94	55,43	53,35	15,5

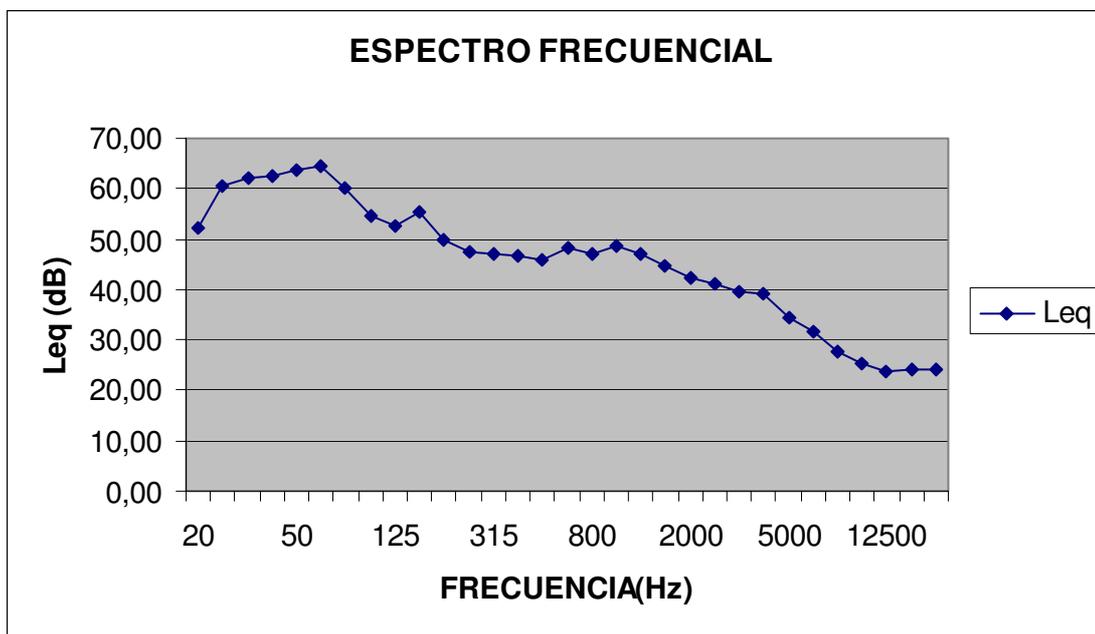
Tabla11. Representación de los parámetros medidos con el Sonómetro

VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	4,59	5,94

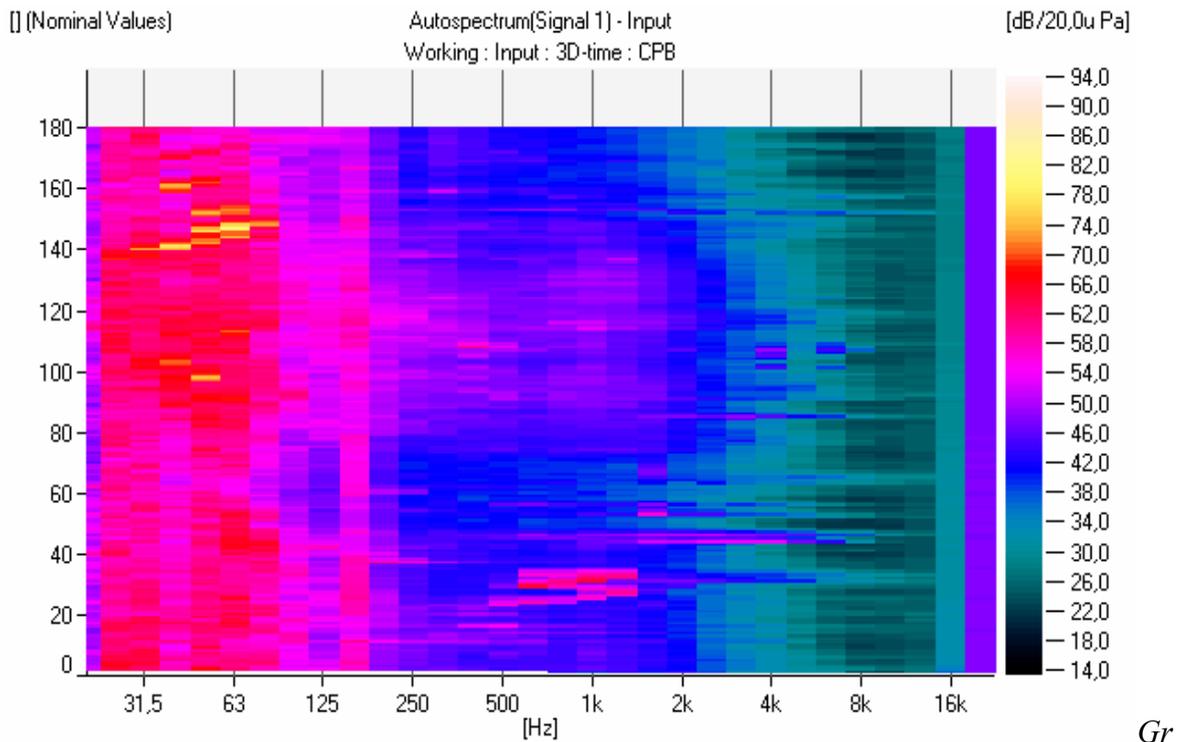
Tabla12 Parámetro de variabilidad calculado

LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
13,18	56,25	69,43

Tabla13. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Grafica8. Espectro en el punto M2



áfica9. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenida en Pulse correspondiente al punto de medida M2

Se observa como los niveles sonoros más altos son registrados a las frecuencias más bajas durante la mayor parte de la medición. Esto significa que hay un sonido más o menos constante que emite un nivel de alrededor de 66dB/20uPa a bajas frecuencias (63 Hz y 31,5 Hz). Pero también se observan picos en el nivel en ciertos momentos, los más destacables alrededor de 1KHz.

Si reparamos a la grabación obtenida por el dispositivo DAT podemos escuchar el ruido de tráfico viario como sonido de fondo constante, que también se acentúa en ciertos momentos (como el paso de un vehículo pesado o moto) y tal y como ocurría en el punto anterior, medida tomada frente al parlamento, esto hace que los niveles sean altos para las bajas frecuencias. En los últimos segundos se observan valores más altos en las frecuencias entre 31,5 y 63 Hz, debido a unos golpes de obras y caídas de ladrillos. Los valores más altos registrados al comienzo de la medición alrededor de 1KHz se deben al paso de una ambulancia y la sirena del tranvía esta última a 1600 Hz.

Destaca en el espectro frecuencial un pico a 160 Hz que podría deberse al habla de la gente puesto que su tono fundamental se sitúa alrededor de esa frecuencia y no se observan picos en el multi-espectro, debido a que se oyen más bien como ruido de fondo.

Parámetros sobre la percepción subjetiva

El promedio de las valoraciones obtenidas es menor que 3 y además, sólo el 28,5% de los encuestados considera el entorno cercano a la Biblioteca (punto M2 de medición) 'Bueno' acústicamente hablando. Por lo tanto, consideramos de manera general que la percepción aquí no es ni buena ni mala.



Predominan en el lugar el ruido producido por los humanos (conversaciones, pasos y paso de bicicletas) y el proveniente de tráfico viario, distando mucho de sonidos naturales u otros tecnológicos como obras o maquinaria.

Tras el análisis de la calificación de los diferentes atributos, se concluye que se percibe la composición sonora de más agradable que molesta y algo variada. En consecuencia se le atribuye el adjetivo de excitante y no aburrido.

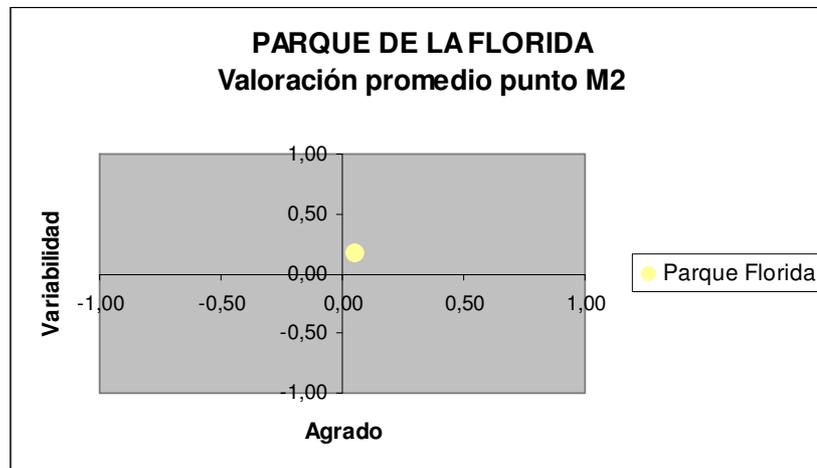
A continuación se muestra la tabla con los resultados obtenidos de las encuestas una vez realizada la cuantificación:

General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	3	2	2	2
3	2	2	2	3
1	2	3	2	1
3	2	4	2	2
3	2	3	1	2
3	2	3	1	0
2	2	3	0	2
2	3	3	0	2
2	2	2	0	1
2	3	3	1	1
3	2	2	2	3
3	3	1	0	2
2	2	3	1	3
2,5	2,3	2,6	1,1	1,8

Tabla 14. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes de ruido

La gráfica muestra que la percepción es más bien agradable y variada que molesta y monótona pero no se puede decir que se muestre una tendencia clara, sobre todo en cuanto al nivel de agrado se refiere, ya que el valor de la componente x a pesar de ser positivo es muy bajo.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica 10. Representación bidimensional de la percepción del entorno sonoro correspondiente al punto M2

Agradabilidad(X)	0,06
Variabilidad (Y)	0,16

Tabla15. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

Parámetro psicoacústico

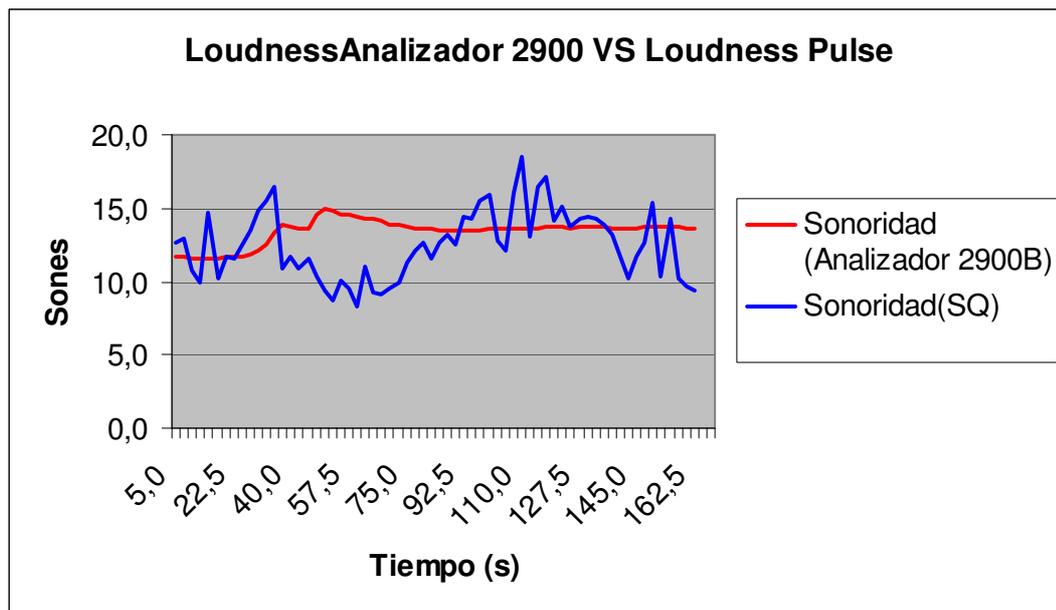
La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente (LAeq= 57 dBA) es de unos 20 dB, tal como ocurriera con el primer punto.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	13,41	12,30
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	77,45	76,21

Tabla16. Valores globales del Loudness para la medida M2

Tal como se comenta en el análisis anterior, el espectro de sonoridad frente al tiempo se muestra más plano para la medición realizada con el 2900, por las razones expuestas anteriormente. Está será la dinámica que seguirán todos los espectros por lo que se centrará el análisis en la sonoridad medida con el PULSE.

A continuación, se presenta la gráfica que representa las sonoridades calculadas frente al rango temporal de medición:



Gráfica11. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Se observa una caída de la sonoridad entre los segundos 40 y 90 debido a la aparente calma que sólo se rompe con la presencia del sonido de un golpeo que provoca que aparezcan en ese intervalo unos pequeños picos. La mayor sonoridad se da en el segundo 110 con la frenada de un autobús que provoca un aumento en el nivel sonoro.



Tercera medición; punto M3, frente el hotel

En la última medición realizada en el paseo, la más cercana a las calles Ramón y Cajal y Florida, el 90% de los encuestados dicen pasar por allí para ir a otro lugar y sólo una persona afirma hacerlo para pasear. Una vez más, se cubren todas las franjas horarias definidas en el cuestionario, teniendo la mañana y noche la mayor afluencia.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
61,91	60,12	64,32	63,31	61,77	60,32	25,1

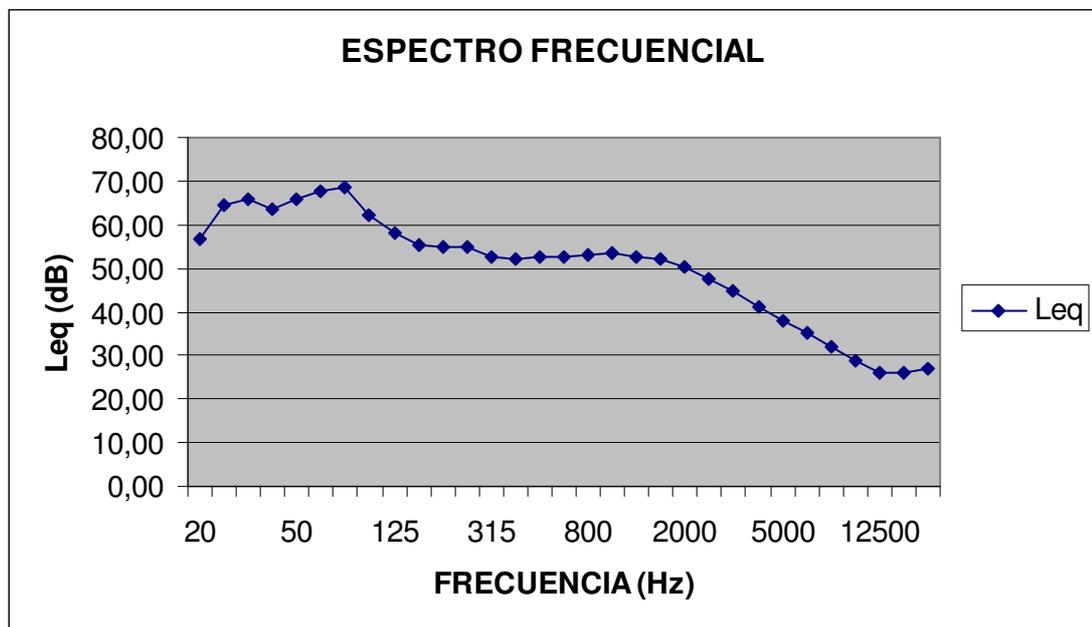
Tabla17. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	2,99	14,2

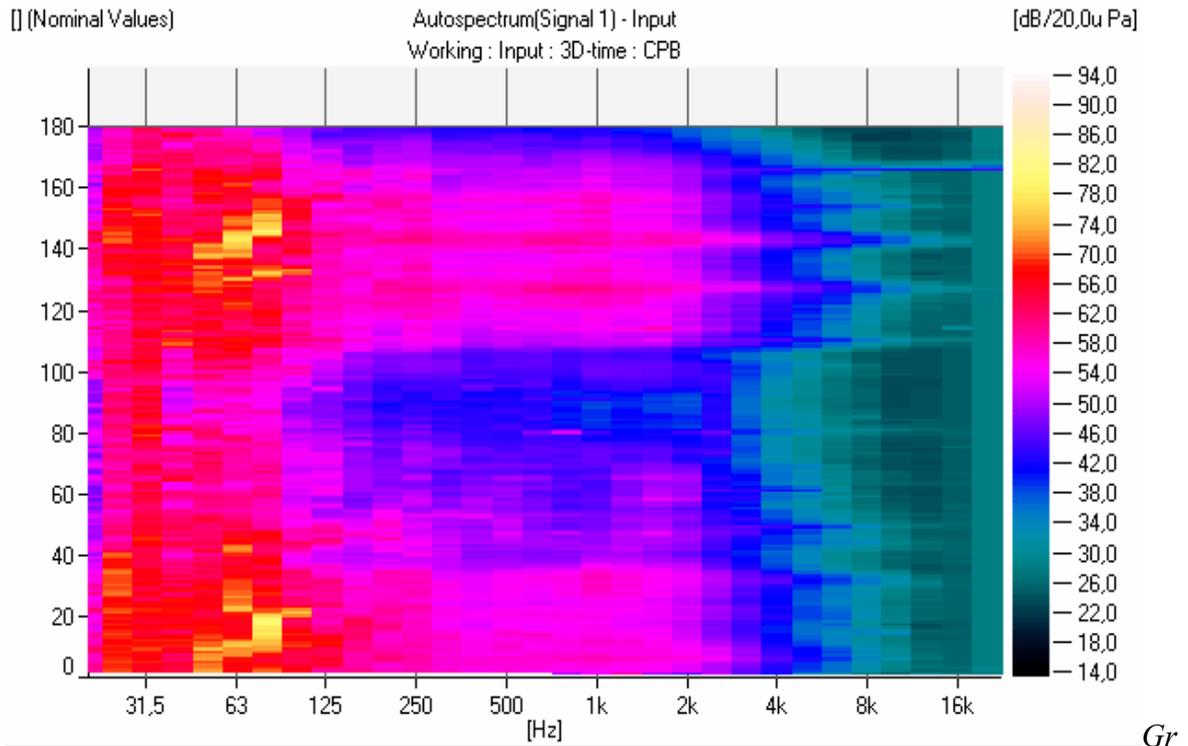
Tabla18. Parámetro de variabilidad calculado

LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
11,79	61,92	73,71

Tabla19. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Grafica12. Espectro en el punto M3



áfica13. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenida en Pulse correspondiente al punto de medida M3

Una vez más, los niveles sonoros más altos son registrados a las frecuencias más bajas a consecuencia del ruido de tráfico constante y de que el ruido de fondo se compone en general de frecuencias bajas. Esta vez, se observan mucho mejor la presencia o no presencia de tráfico, es decir, cuando el semáforo se abre se observa un aumento de nivel para las frecuencias hasta 3-4 KHz y cuando se cierra esos niveles vuelven a bajar. Si reparamos a las grabación obtenida por el dispositivo DAT podemos escuchar voces y gritos que hacen que aumenten los niveles en las frecuencias alrededor de 300 Hz.

Del espectro frecuencial deducimos que es más plano que en puntos anteriores y que predominan claramente las bajas frecuencias, debido a que claramente también predomina en el lugar el ruido de tráfico viario.

Parámetros sobre la percepción subjetiva

Destaca que este punto no sólo no es valorado o percibido como 'Bueno' acústicamente hablando sino que es considerado un entorno sonoro 'Malo' por ser el valor promedio menor que 2.

En este punto el ruido de tráfico es considerado predominante frente al ruido de naturaleza, tal como canto de pájaros, que apenas es percibido. Otros sonidos son identificados, tales como la sirena del semáforo y algún sonido de obra.

La cuantificación de las dos componentes principales, nivel de agrado y variabilidad, nos indica que la percepción acústica es desagradable y más variable que en los casos anteriores.

A continuación se presentan las tablas correspondientes a los datos obtenidos tras la realización de la cuantificación de las correspondientes encuestas:

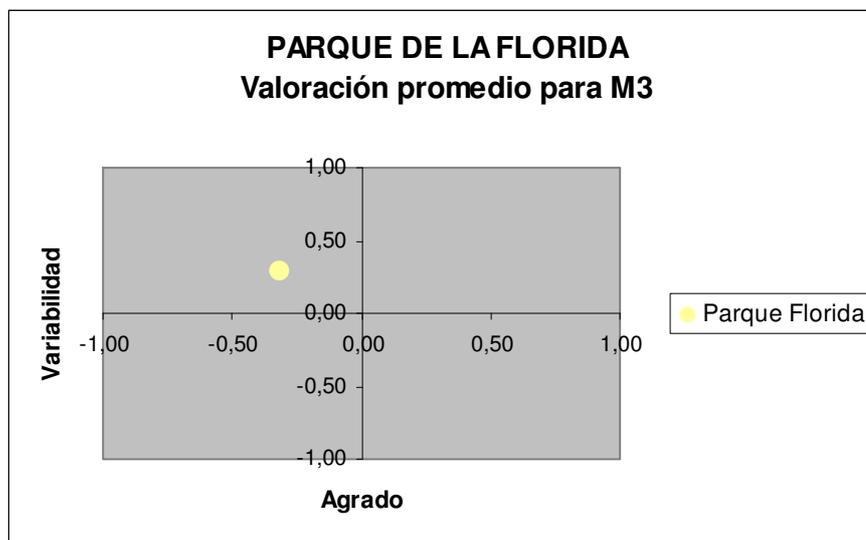


General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
2	3	1	2	3
3	3	3	2	2
0	4	2	0	3
3	4	2	2	2
3	4	2	0	3
1	3	1	0	1
2	4	3	0	3
2	4	1	1	1
0	4	2	0	2
0	4	2	0	2
2	3	1	2	3
1,6	3,6	1,8	0,8	2,3

Tabla20. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes de ruido

Se observa como el entorno resulta claramente molesto y bastante variable, sobre todo si lo comparamos con puntos anteriores. Debido a considerarse más molesto que agradable y variado que monótono, es más caótico que calmado. En resumen, el entorno sonoro que nos ofrece el espacio cercano a el punto M3 es definido como molesto, variable y algo caótico.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica14. Representación gráfica de la percepción sonora en el punto M3

Agradabilidad(X)	-0,32
Variabilidad (Y)	0,28

Tabla21. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

Parámetro psicoacústico

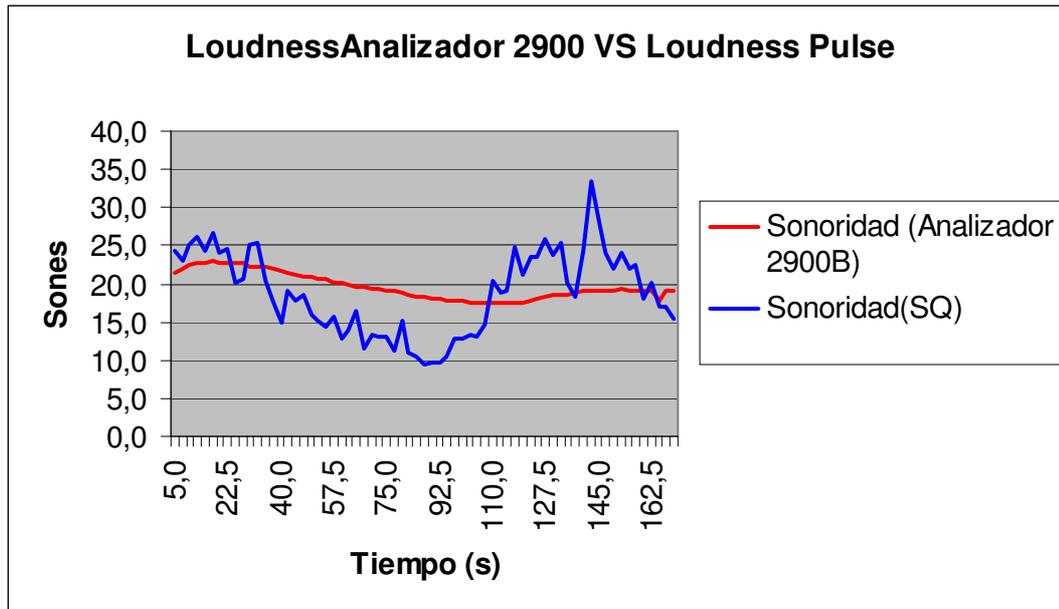
La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente ($L_{Aeq} = 62,82$ dBA) una vez más es de unos 20 dB.



	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	19,56	18,40
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	82,9	82,02

Tabla22. Valores globales del Loudness para la medida M3

A continuación se presenta la gráfica que muestra el espectro de la sonoridad frente a el tiempo, en el que se observa un pico muy destacable, asociado a un ruido muy fuerte de motor a muy bajas frecuencias, así como una zona de muy baja sonoridad.



Gráfica15. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Cuarta medida; punto M4, quiosco

Para este punto de medida los participantes en el estudio como ocurre en los puntos de medición anteriores, afirman pasar por el quiosco para dirigirse a otro lugar y lo hacen más por la mañana que en otro momento, aunque una vez más, se cubren todos los periodos de día en los que la gente acude o pasa por allí.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

L _{Aeq} (dBA)	L _{min} (dBA)	L _{max} (dBA)	L ₁₀	L ₅₀	L ₉₀	N ₁₀ (sones)
57,64	56,58	59,11	58,56	57,61	56,60	18,9

Tabla23. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

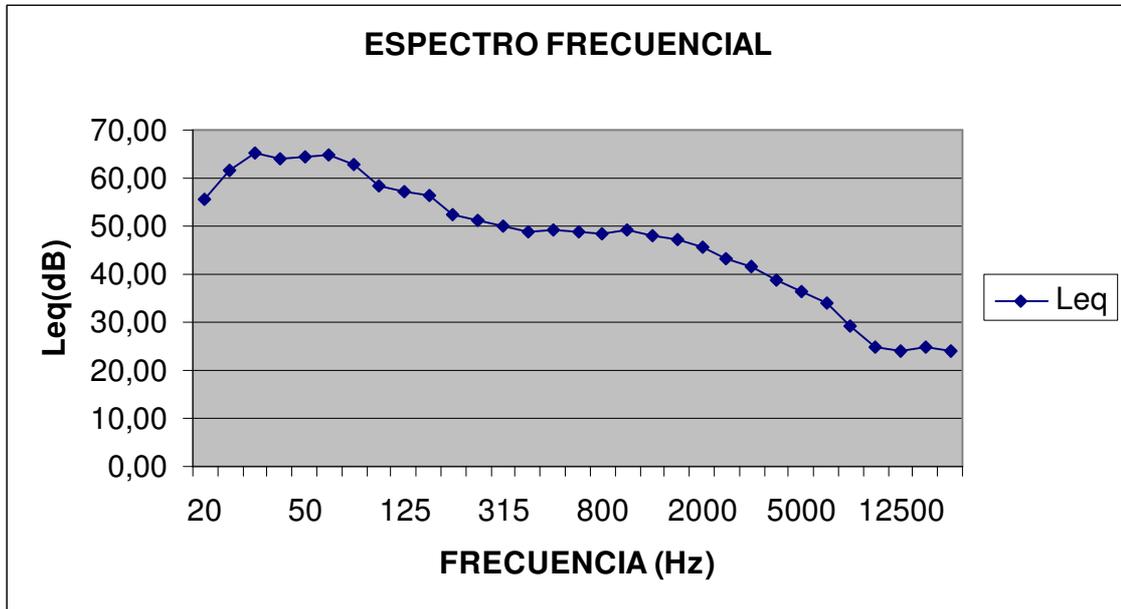
VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	1,96	6,8

Tabla24. Parámetro de variabilidad calculado

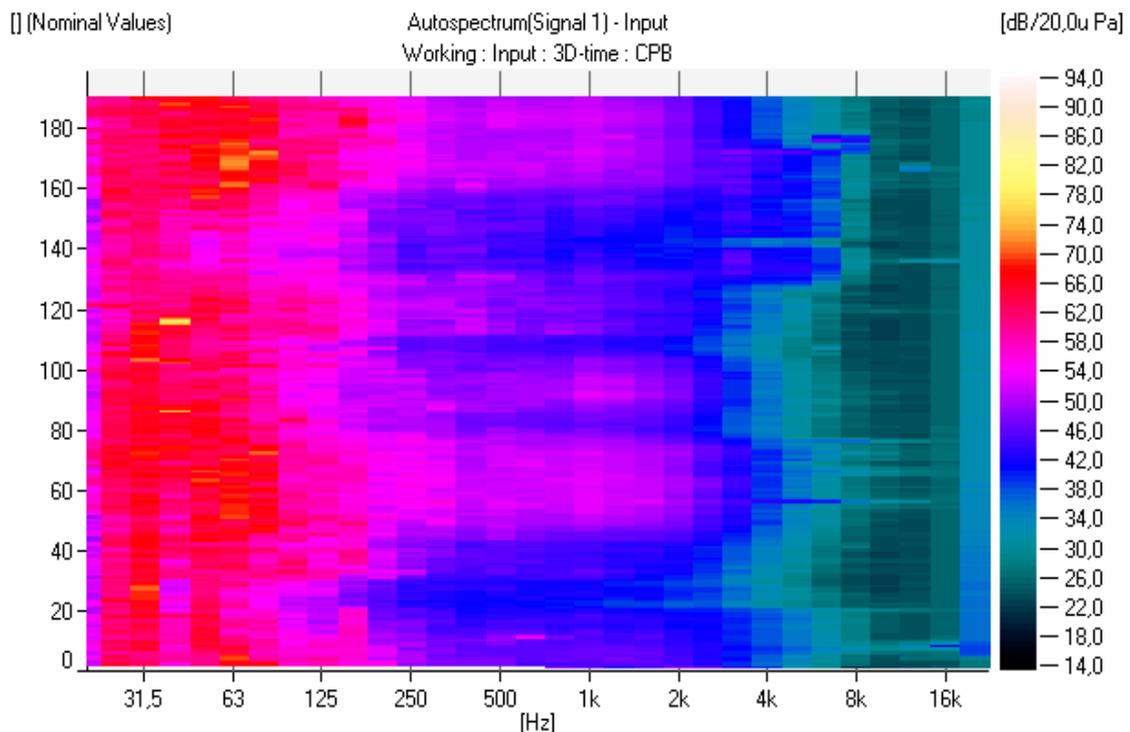


LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
13,13	57,89	71,02

Tabla25. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Grafica16. Espectro en el punto M4



Grafica17. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenida en Pulse correspondiente al punto de medida M4

Siguiendo la norma general de todas las mediciones se registran los niveles más altos en las frecuencias más bajas debido a el claro predominio del ruido de tráfico en el entorno



sonoro. Tal como ocurría en la medida M3 también es claro el instante en el que se abre y cierra en semáforo que da paso al tráfico.

Como detalles al escuchar la grabación y durante el análisis a tiempo real con LabShop, vemos un aumento de nivel a unos 600Hz al comienzo de la grabación, generado por unas risas.

En este punto predominan claramente las bajas y medias frecuencias. Además, no se presentan los picos propios de tonos puros, tal como ocurría en los primeros puntos de medición.

Parámetros sobre la percepción subjetiva

Tal como ocurre en el punto de medición situado frente a el hotel, el entorno sonoro en este punto se considera ‘Malo’, por no superar la percepción general el valor 2, aunque en este caso un 40% lo considera ‘Bueno frente a el 27% del caso anterior.

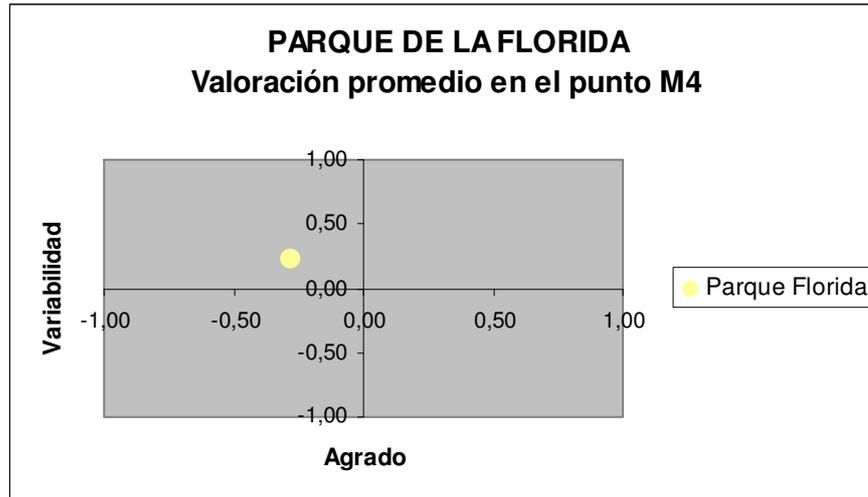
Predomina claramente el ruido de tráfico, seguido por otros identificados como voces humanas y arrastre de maleta, obras y canto de pájaros. Cabe destacar, que no se identifica en ningún caso el sonido proveniente de las fuentes de agua situadas alrededor del quiosco. Una vez más, el entorno es calificado como desagradable y variable.

General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
1	4	2	0	2
3	3	2	2	2
3	3	0	3	2
2	4	2	1	1
1	4	2	1	1
1	4	1	1	2
3	4	2	1	2
2	3	2	1	0
2	3	2	1	2
1	4	3	2	3
1,9	3,6	1,8	1,3	1,7

Tabla26. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las fuentes de ruido

Tal como ocurre con la tercera medición, este entorno sonoro cercano a el quiosco, se considera bastante molesto y variado y por ello se le asigna el atributo de caótico en vez de calmado, excitante o aburrido.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica18. Representación bidimensional de la percepción del entorno del punto M4

Agradabilidad(X)	-0,28
Variabilidad (Y)	0,22

Tabla27. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

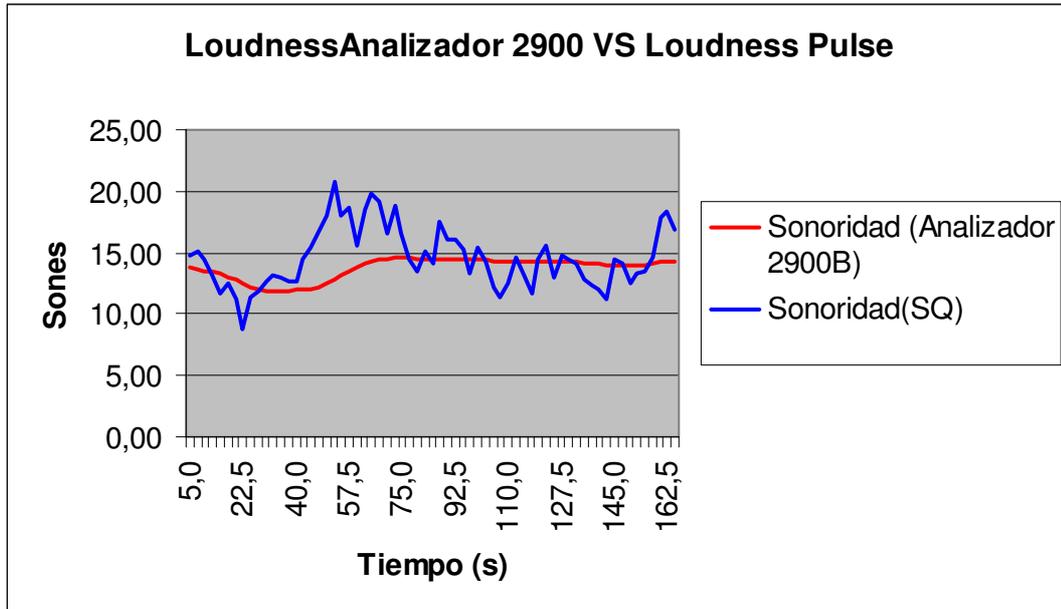
Parámetro psicoacústico

La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente (LAeq= 57,64 dBA) es de unos 20dB, tal y como ocurre en todos los casos anteriores.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	13,75	15,00
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	77,82	79,07

Tabla28. Valores globales del Loudness para la medida M4

En la gráfica del espectro de la sonoridad en función temporal se observa como la sonoridad se mantiene muy variable para la medida tomada en el quiosco. Además, se destaca una subida brusca del nivel entre los segundos 22 y 52, registrándose los máximos y mínimos en ese mismo intervalo. Esto se debe a una bajada del flujo de tráfico en el segundo 22 donde apenas se percibe ruido y un aumento progresivo pero muy rápido del flujo de tráfico que alcanza unos niveles muy altos en los segundos 52 y 53. Los picos restantes pueden estar relacionados con las características del tráfico intermitente que provoca subidas y bajadas en la sonoridad.



Gráfica19. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Quinta medición; punto M5, bancos de colores

A el punto donde se realiza la medición en los bancos situados al final de una cuesta en el centro del parque, la mayoría de los participantes reconoce no ir por desviarse del paseo y zonas de paso del parque y sólo una persona afirma acudir al lugar para descansar que en principio debería de ser uno de los objetivos ya que se trata de una zona de bancos.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
55,42	53,78	59,85	56,87	55,00	56,14	16,1

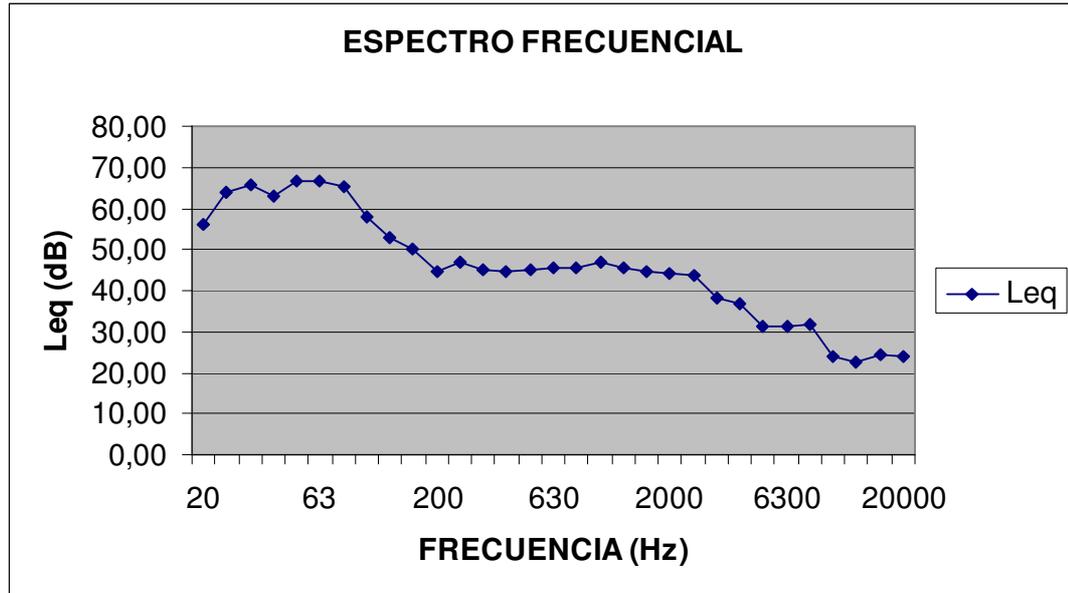
Tabla29. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	0,73	6,29

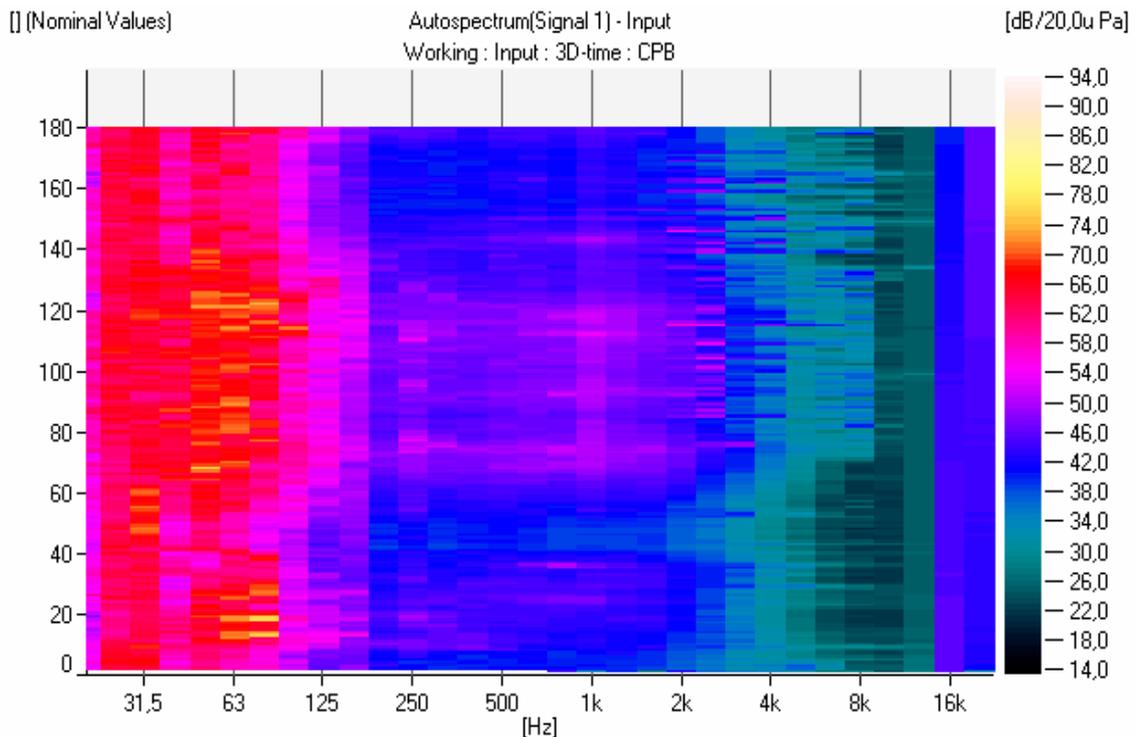
Tabla30. Parámetro de variabilidad calculado

LCeq-LAeq	Laeq(20-20000Hz)	Lceq(20-20000Hz)
16,33	55,65	71,98

Tabla31. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Gráfica20. Espectro en el punto M5



Gráfica21. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenida en Pulse correspondiente al punto de medida M5

Destaca en el multi- espectro un pico a 80Hz con un valor de unos 75dB/20uPa al comienzo de la medición que se relaciona con un sonido de motor muy grave y contundente que podría pertenecer a una moto. Existen en este caso otros eventos sonoros destacables además del intenso tráfico como son el sonido de las obras (ladrillos caer o algo similar) que aumentan los niveles a las frecuencias de 1 y 2KHz, el canto de los pajarillos, más notable en este punto y que hace que aumenten los niveles para frecuencias de hasta 4KHz. .

Parámetros sobre la percepción subjetiva

Una vez más se considera el entorno sonoro como ‘Malo’. Curiosamente el 60% de los encuestados lo considera ‘Bueno’ sin embargo, buena parte de los encuestados lo valora como ‘Muy malo’ y esto hace que la media baje de manera que empeora la percepción general.

Predomina el ruido de tráfico aunque se perciben también de manera notoria el canto de pájaros. Más débilmente se perciben otros sonidos tecnológicos provenientes en su mayoría de obras (Cristal o ladrillo caer) y alguno producido por humanos.

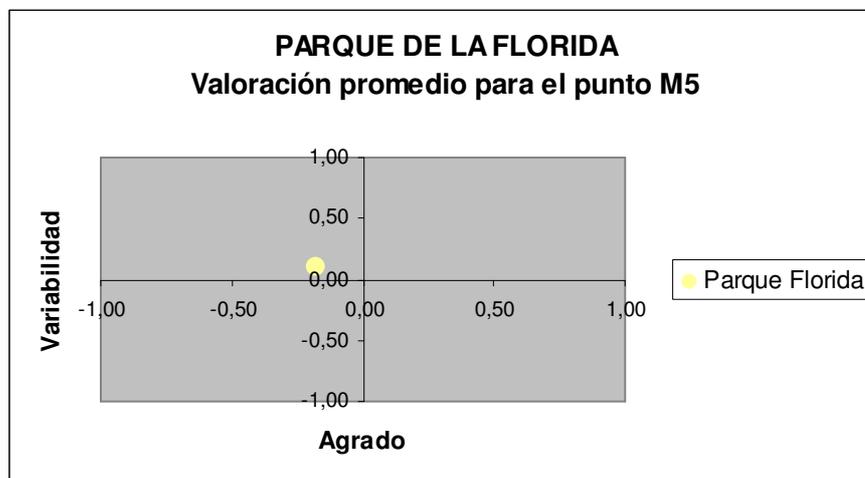
Este punto también se describe como desagradable y variado aunque en ningún caso tanto como en los puntos del Hotel o el quiosco donde también predomina el ruido de tráfico viario.

General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	3	2	2	0
3	4	1	3	2
1	4	2	1	2
3	4	1	2	0
2	4	2	3	2
3	3	1	2	2
3	4	1	3	2
3	2	1	2	1
0	4	2	2	3
0	3	0	3	2
2,1	3,5	1,3	2,3	1,6

Tabl32. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes de ruido

Una vez realizada la cuantificación de la encuesta observamos como estamos ante un entorno algo molesto y variable y por tanto también algo caótico.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica17. Representación gráfica bidimensional de la percepción del entorno sonoro para el punto M5

Agradabilidad(X)	-0,18
Variabilidad (Y)	0,11

Tabla33. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

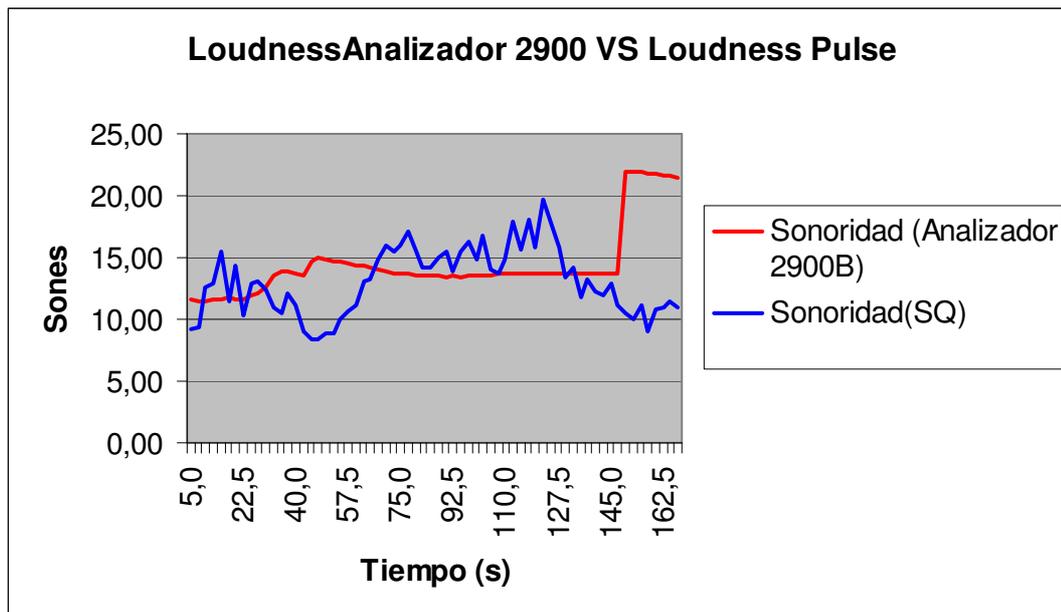
Parámetro psicoacústico

No existen diferencias entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente medido con el analizador 2900 ($L_{Aeq} = 58,9\text{dBA}$).

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	15,11	12,90
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	79,17	76,89

Tabla34. Valores globales del Loudness para la medida M5

En este caso cabe hacer un análisis del loudness dado por el analizador 2900 ya que presenta una subida repentina del valor del segundo 147,5 al 150. la sonoridad es variable al comienzo de la medición hasta que se estabiliza sin embargo luego experimenta una subida muy brusca que no se asocia claramente a ningún sonido presentado en la grabación por lo que podría deberse a un pequeño desajuste de calibración u otro factor externo. El Loudness obtenido del SQ, se mantiene variable, registrando los valores más altos a mitad de la medición cuando el ruido de tráfico es más potente.



Gráfica22. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Relación entre las principales componentes, las propiedades acústicas y las fuentes de ruido

Las encuestas nos indican que el punto más agradable es el segundo, justo frente a la biblioteca, muy seguido por el primer punto (frente al parlamento), ambos presentan los valores más bajos en la percepción de ruido de tráfico y los más altos en el nivel de percepción de ruidos producidos por humanos, identificados en su gran mayoría como conversaciones, gritos, etc. El punto más molesto, es el más cercano al hotel (M3), uno de



los que más ruido de tráfico tiene combinado con otros tecnológicos como la sirena del semáforo.

Podemos deducir que el nivel de agrado, es inversamente proporcional a las fuentes de ruido tecnológicas como el tráfico.

Si reparamos en los niveles obtenidos (LAeq), observamos que existe cierta relación con el nivel de agrado, un mayor nivel se correspondería con una percepción más molesta. El factor 'fuente de ruido predominante', juega un importante papel, tal como se demuestra en la medida M5.

En este punto, se obtiene el menor nivel LAeq y no es valorado como uno de los más agradables, de hecho, se considera molesto. Además de las fuentes de ruido naturales, en este punto destaca también la alta percepción de ruido de tráfico, unida a las expectativas de que ese lugar fuese un lugar más tranquilo, con menor ruido de tráfico. Esto conlleva que a pesar de registrar el menor nivel, la percepción de agrado no sea tan alta. Por lo que se puede afirmar que el nivel de ruido no es tan importante como el tipo de ruido que se percibe, a la hora de valorar la primera componente (Nivel de agrado).

La segunda componente, la variabilidad, es representada en primer lugar, mediante el parámetro (L10-L90), esto se debe a que el L10 representa el nivel superado el 10% del tiempo de medida, nivel de los posibles acontecimientos, y el L90 el que es superado el 90% del tiempo de medida, semejante a el nivel del ruido de fondo. Por lo que su diferencia, nos muestra lo que ha variado el nivel a lo largo de toda la medición.

En segundo lugar, se representa mediante el parámetro N10-N90, que representa la variabilidad de la sonoridad en toda la medición.

Los encuestados consideran que los puntos en los que se percibe un entorno sonoro más variado son el tercero, segundo y cuarto, mediciones realizadas frente a el hotel, centro cultural Ignacio Aldekoa y el quiosco respectivamente, mientras que el primer punto de medición, frente al parlamento, sería considerado el entorno más monótono. Todo lo contrario obtenemos del primer parámetro indicador de la variabilidad objetiva, ya que esos dos últimos entornos son los que mayor diferencia L10-L90 muestran y por tanto una mayor varianza en sus niveles (sonido de evento-ruido de fondo). El segundo parámetro indicador de la variabilidad objetiva percibida en los entornos, N10-N90, sin embargo se relaciona de manera más lógica con la percepción subjetiva evaluada en las encuestas, ya que el mayor valor para ese parámetro se da en el punto de medición M3 y uno de los menores para el M1.

Los puntos considerados como los más variables, es decir, menos monótonos, son curiosamente los que más ruido de tráfico y otras fuentes tecnológicas presentan. Los paisajes sonoros en los que abunda el tráfico viario de calles, suele generar grandes cambios en los niveles por considerarse tráfico intermitente, por esto los puntos con mayor influencia de ruido de tráfico pueden percibirse también como los más variables. Es este hecho también el que hace que no se establezca una lógica relación entre el parámetro de variabilidad (L10-L90) y su percepción.

Sí se establece relación entre el nivel de agrado y la variabilidad medida. Cuanto mayor es el valor L10-L90, más agradable resulta.

Resultados de estudios anteriores avalan la teoría de que cuanto mayor es la componente frecuencial a bajas frecuencias, medida objetivamente mediante el parámetro L_{Ceq}-LA_{eq}, menor es la percepción de variabilidad del entorno. Sin embargo, siguiendo la lógica de que el ruido de tráfico es de componente frecuencial baja y que sin embargo los entornos en los que este predomina son considerados los más variables dejando a un lado la teoría del estudio sueco, la percepción de variabilidad es mayor (el punto M3 es el considerado el



más variable frente al M1) cuanto mayor es su proporción relativa de bajas frecuencias (el punto M1 es el que más baja la tiene). En todos los casos la diferencia entre el nivel ponderado C y el ponderado A es mayor de 10dB lo que es una diferencia importante que implicaría una corrección por componente frecuencial baja en el nivel total de hasta 3dB. Además, para el punto M5 esa diferencia es mayor que 15dB por lo que implica una corrección de 6dB.

El loudness o sonoridad, es la magnitud psicoacústica más básica, que describe el nivel de sonido percibido para distintos niveles de presión sonora. Demuestra, la importancia que tiene la fuente sonora y su composición espectral, frente a el nivel sonoro y puede ser indicador objetivo de molestia.[Ref.26]

Se han realizado dos tipos de mediciones para este parámetro, ambos partiendo de las grabaciones realizadas con el dispositivo DAT, que añade ruido de fondo propio del dispositivo pero que no se tendrá en consideración por estar ambas mediciones bajo las mismas condiciones. La primera se hace con el analizador 2900B tal como se explica en el apartado de análisis en el laboratorio y la segunda se hace utilizando el software del PULSE, el Sound Quality Type 7698. a pesar de que se obtienen resultados similares en todas las mediciones (solo distan en unos 2 sonos), solo analizaremos los datos obtenidos con el PULSE ya que hace un análisis instantáneo configurado para que se haga cada 2,5 segundos y con el 2900 el análisis es global de toda la medida y por lo tanto, la información que se obtiene es menor a todos los rasgos.

En nuestro caso, los puntos M3 y M5 poseen el loudness más alto y el M3 también el mayor nivel equivalente registrado, frente a el punto M2 que posee la más baja sonoridad. Las fuentes de ruido predominantes en M3 son el ruido de tráfico seguido de otros como obras y maquinaria, mientras que para M2 predomina el tráfico junto con los sonidos producidos por los humanos. En el punto M5 predominan tanto el ruido de tráfico como el de la naturaleza, destacando más el de tráfico. Además, en los tres puntos se perciben claramente otros ruidos tecnológicos como el procedente de obras o barredoras. De estas tres mediciones, la segunda es la que menor ruido de tráfico presenta. Destaca también que el punto M4 que es el segundo de menor nivel de sonoridad es también uno de los que más percepción de tráfico tiene, según percepción subjetiva, junto con sonidos naturales (es el segundo punto en el que más sonidos naturales se perciben).

De esto podemos deducir que el hecho de que la fuente predominante sea una u otra no guarda una estrecha relación con la sonoridad, pues en nuestro caso, no influye fuertemente en nuestra percepción del entorno sonoro.

Lo que si que es claro es que la diferencia entre los niveles equivalentes ponderados A y la sonoridad es muy grande y que el punto que mayor percepción de ruido de tráfico y desagrado o nivel de molestia presenta (M3) es en el que más destaca el valor del nivel de sonoridad. Con lo que podemos concluir que el ruido de tráfico como fuente claramente predominante, provoca una mayor molestia que otro tipo de fuentes de ruido y que además así se percibe, puesto que un mayor nivel de sonoridad significa que necesitamos un mayor nivel sonoro para percibir un sonido a un cierto nivel, que por lo general es mucho más bajo.

Por ejemplo, un entorno como podría ser el tercer punto de medición, donde predomina claramente el ruido de tráfico registra un nivel de unos 62dB y sin embargo el nivel de sonoridad es de 83 fonios. Esto significa que ese tipo de ruido produce una sensación de un nivel mayor del que realmente produce. Esa sensación disminuye generalmente cuando disminuye el nivel de molestia y el nivel sonoro equivalente.



3.2.4.2 Resultados para el día festivo

Participan en el estudio del parque de la Florida alrededor de 10 personas en su mayoría mujeres de entre 23 y 52 años, teniendo la mayoría de encuestados entre 23 y 30 años. Todos tienen estudios mínimos y todos trabajan excepto uno que es estudiante. Las mediciones duraron alrededor de 3 minutos.

Primera medición: punto M1, frente al parlamento.

En este punto los todos los encuestados coinciden en que pasan por el sólo para dirigirse a otro lugar y lo hacen en todos los momentos del día (mañana, mediodía, tarde, anochecer, noche y en momentos no especificados).

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
49,82	45,18	55,45	52,56	48,81	46,20	13,3

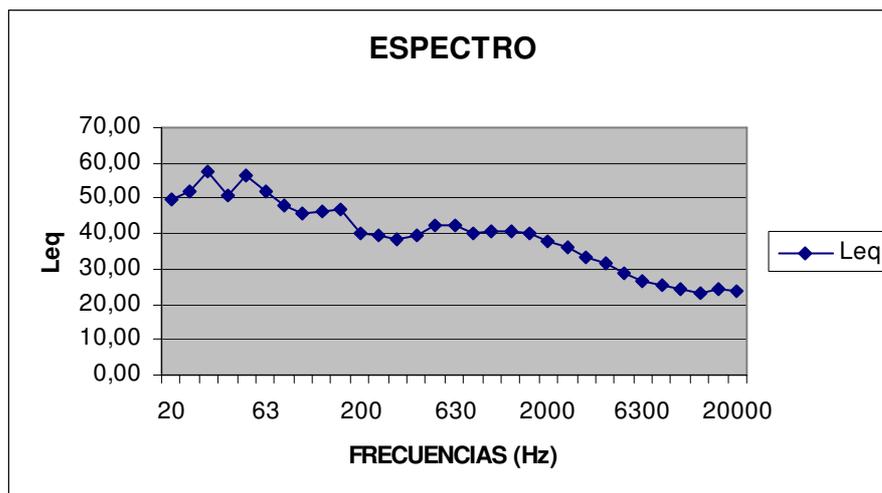
Tabla35. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	6,36	5,64

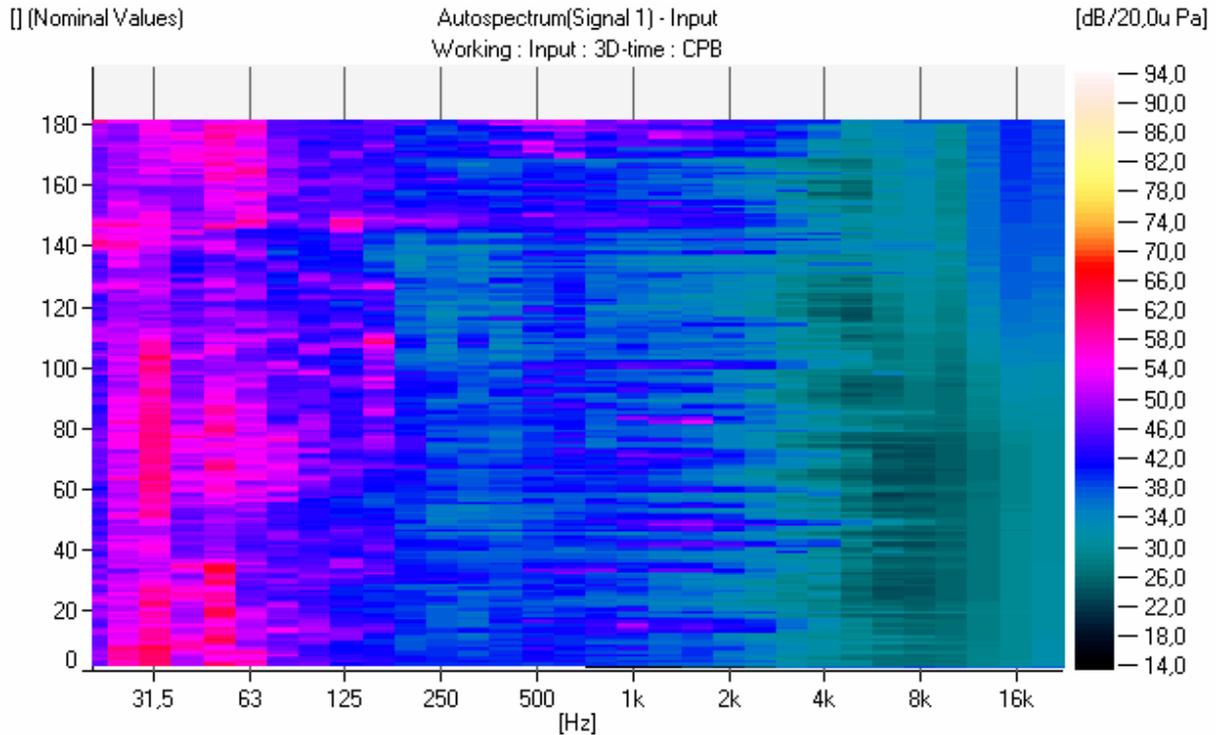
Tabla36. Parámetro de variabilidad calculado

LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
10,89	49,90	60,79

Tabla37. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Grafica23. Espectro en el punto M1



Gráfica24. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenido mediante LabShop correspondiente a la medida M1

Los picos más destacables se presentan en las frecuencias de 31,5Hz, 50 y 160Hz. A las frecuencias más bajas, aparecen picos debido al ruido de tráfico viario pesado, pasan varios vehículos que elevan el nivel a esa frecuencia. Los picos en la frecuencias medias se deben a el paso de hojas (sonido independiente del entorno sonoro), las risas y los aplausos respectivamente.

Parámetros sobre la percepción subjetiva

El entorno sonoro, de manera general, no es considerado como ‘Bueno’ ya que el promedio de las valoraciones obtenidas es <3 aunque el 50% si que lo valora como ‘Bueno’, no cumple el criterio completamente.

Predominan claramente en este punto los sonidos producidos por los humanos (conversaciones, pasos y paso de bicicletas), entre ellos cabe destacar la pequeña fiesta de niños que había en un lugar cercano.

Es destacable, que ninguno de los encuestados menciona haber percibido sonidos tecnológicos (sin contar con el tráfico).

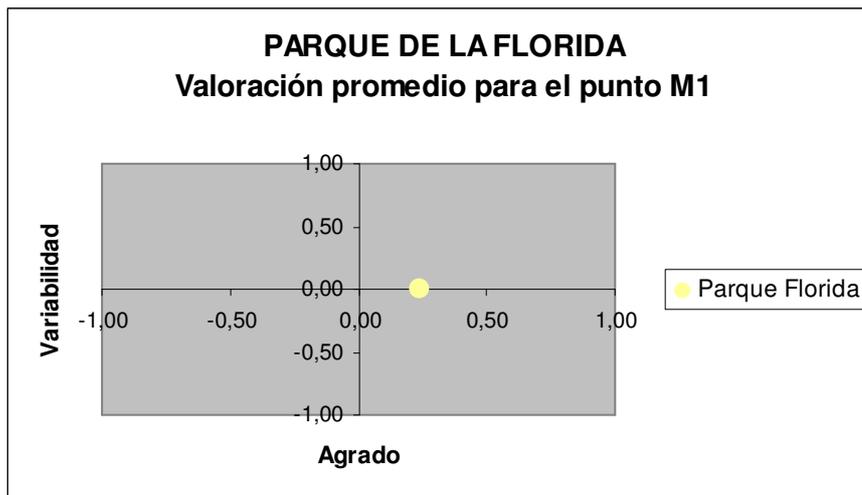


General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	2	4	2	0
3	2	4	1	0
2	0	2	2	0
3	2	3	2	0
3	1	3	3	0
3	3	3	2	0
3	1	3	3	0
2	1	3	2	0
2	2	3	2	0
2	1	3	0	0
2,6	1,5	3,1	1,9	0,0

Tabla38. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes de ruido

Una vez aplicada la fórmula se considera este espacio un lugar agradable y no es considerado ni variado ni monótono, por lo que es también un poco calmado.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica25. Representación gráfica bidimensional de la percepción del entorno para el punto M1 en un día festivo

Agradabilidad(X)	0,24
Variabilidad (Y)	-0,01

Tabla39. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

Parámetro psicoacústico

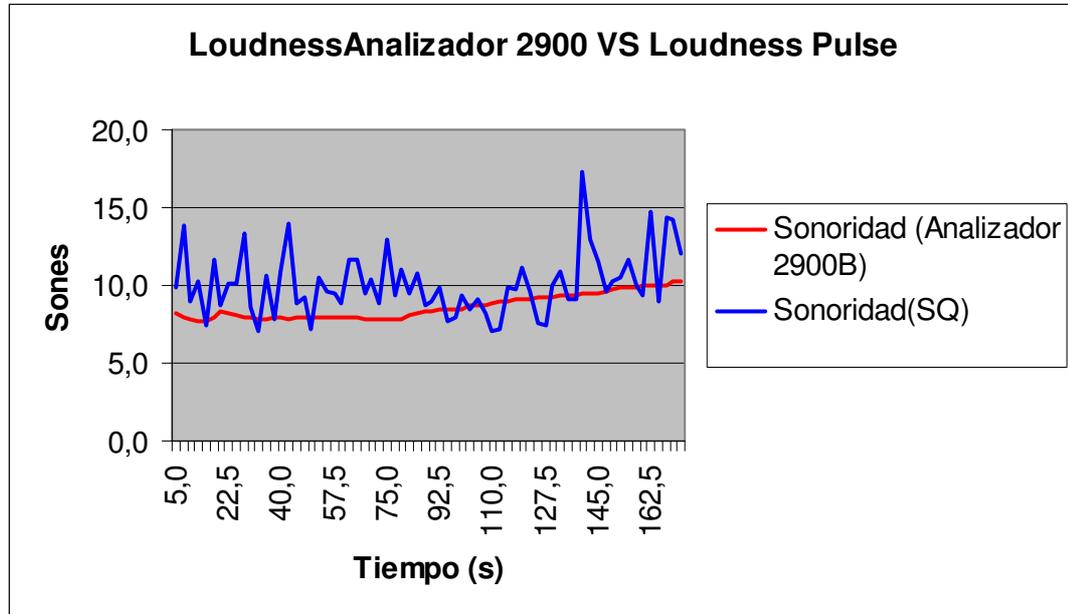
La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente (LAeq= 50,27dBA) es de unos 23dB.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	8,70	10,10
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	71,21	73,36

Tabla40. Valores globales del Loudness para la medida M1



La sonoridad dada por el software del PULSE es muy variable en este punto. Se observan alti-bajos, picos, durante toda la medición y los valores oscilan entre 17,3 y 7,01 sonios. El valor máximo se registra en el segundo 140, momento en el que se perciben unos aplausos muy fuertes y cercanos al punto de grabación. Los picos existentes durante toda la medición se relacionan con la gran cantidad de eventos sonoros que se registran en la grabación de este paisaje sonoro en particular.



Gráfica26. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Segunda medición; punto M2, frente a la biblioteca

En este punto la mayoría de los encuestados coinciden en que pasan por el sólo para dirigirse a otro lugar y lo hacen en todos los momentos del día (mañana, mediodía, tarde, anochecer, noche y en momentos no especificados), pero una persona dice ir para encontrarse con alguien, cosa que tiene sentido por encontrarnos muy cerca de la Casa de Cultura Ignacio Aldekoa, donde la gente acostumbra a reunirse.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
49,71	46,17	57,48	51,83	48,43	46,74	13

Tabla41. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

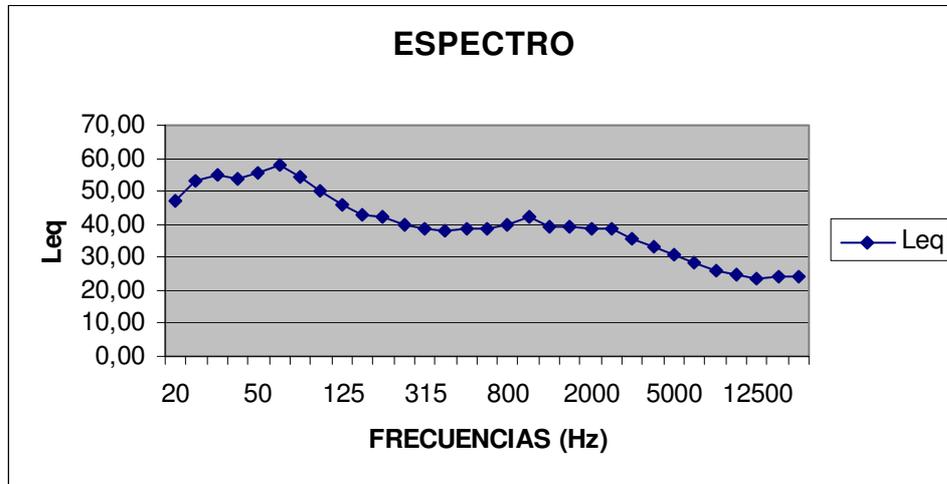
VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	5,09	4,82

Tabla42. Parámetro de variabilidad calculado

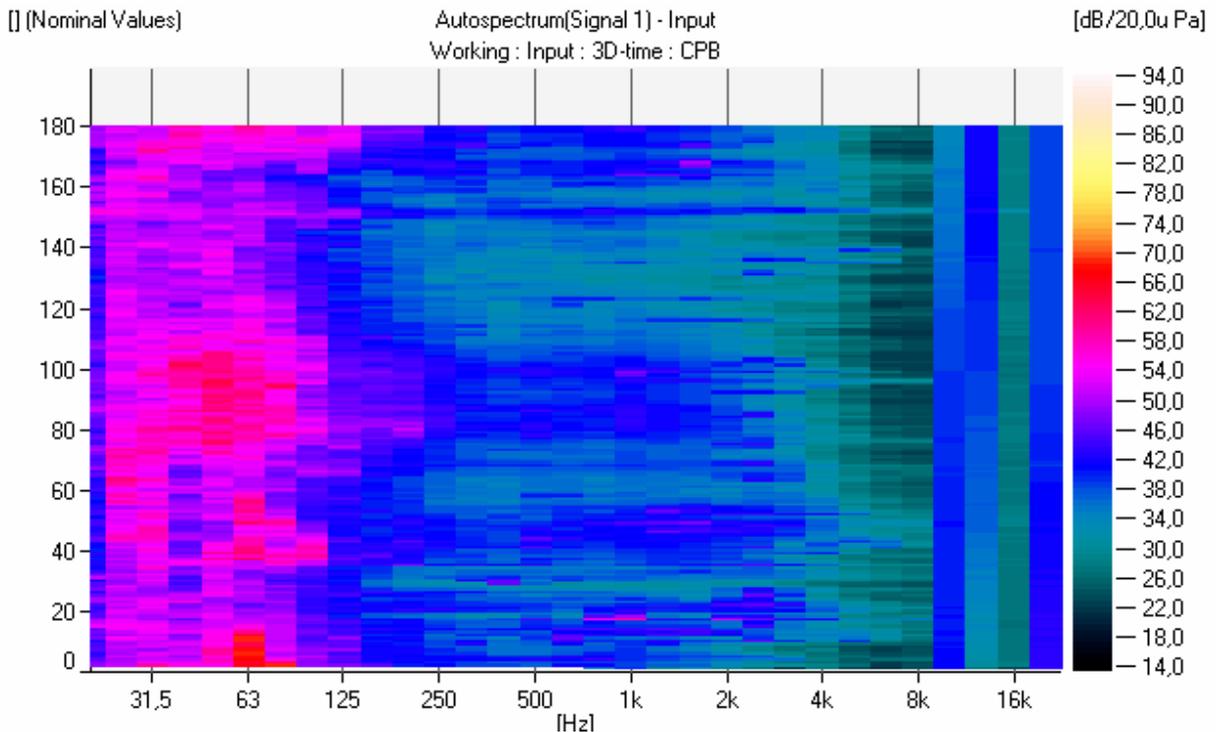


LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
12,53	49,78	62,31

Tabla43. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Gráfica27. Espectro en el punto M2



Gráfica28. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenido mediante LabShop correspondiente a la medida M2

Destaca de la gráfica un pico claro a 63Hz, podría deberse al paso de una silla de bebé y a los pasos de la gente en general que incrementa los niveles en esa frecuencia. También se aprecia un pequeño pico en la frecuencia de 1000Hz que se debe al gag! De un niño muy cercano. En general, predominan los sonidos de baja frecuencia.



Parámetros sobre la percepción subjetiva

El entorno sonoro, de manera general, no es considerado como ‘Bueno’ ya que el promedio de las valoraciones obtenidas es menor que 3. A pesar de que el 60% de los encuestados considera este punto ‘Bueno’, acústicamente hablando.

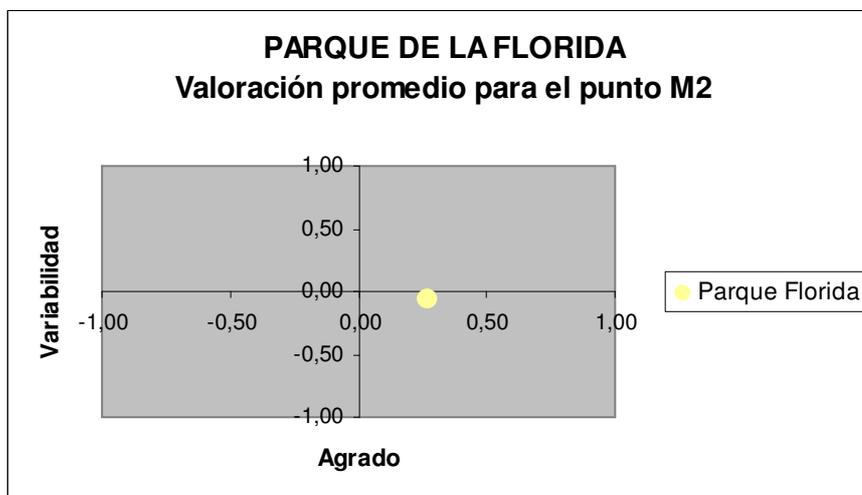
Predominan, de manera leve, en el lugar el sonido producido por la naturaleza (canto de pájaros) y el producido por los humanos (conversaciones, pasos y paso de bicicletas). En cuanto al tráfico, también está muy presente en la percepción del sonido desde este punto. Por otro lado, destaca una vez más, que los sonidos tecnológicos no son identificados por ninguno de los asistentes al paseo sonoro.

General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	3	3	3	0
3	2	2	3	0
3	1	2	3	0
3	3	3	3	0
3	1	3	3	0
2	2	1	3	0
3	2	3	3	0
2	2	3	2	0
2	2	3	3	0
2	2	1	3	0
2,6	2,0	2,4	2,9	0,0

Tabla44. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes de ruido

Una más, se considera este espacio un lugar bastante agradable que no es variado pero tampoco se puede considerar monótono, ya que la valoración de esta componente (Variabilidad) se inclina muy tímidamente hacia lo monótono. Por lo tanto, se le atribuye al entorno el adjetivo de calmado.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica29. Representación gráfica bidimensional de la percepción del entorno correspondiente al punto M2 en día festivo

Agradabilidad(X)	0,27
Variabilidad (Y)	-0,07

Tabla45. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

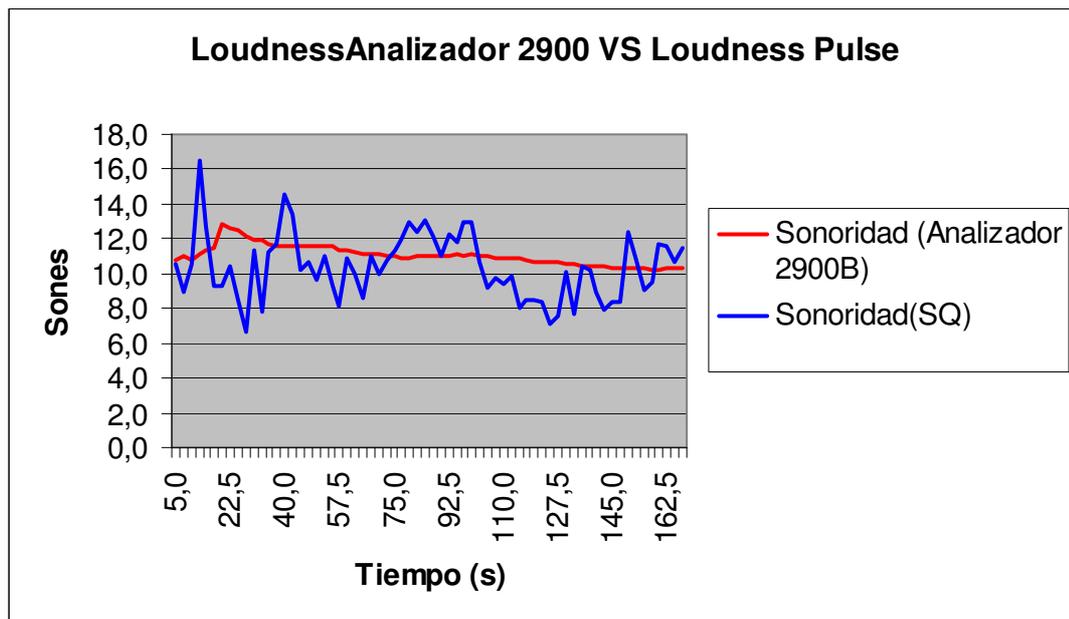
Parámetro psicoacústico

La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente (LAeq= 52,3dBA) es de unos 22dB, tal como ocurría en el punto anterior.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	11,04	10,50
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	74,65	73,92

Tabla46. Valores globales del Loudness para la medida M2

La siguiente gráfica muestra la gran variación de la sonoridad en el rango de 13 y 8 sonios. Además destacan dos picos con valores por encima de los 14 sonios (16, 55 y 14,54 sonios respectivamente) debido al ajetreo de gente hablando cerca de la medición y un arrastre de maleta o carro. Estos eventos sonoros provocan también un aumento del nivel sonoro. De manera general, un aumento del nivel equivalente provoca un aumento en la sonoridad.



Gráfica30. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Tercera medición; punto M3, frente el hotel

En este punto todos de los encuestados coinciden en que pasan por el sólo para dirigirse a otro lugar y lo hacen en todos los momentos del día (mañana, mediodía, tarde, anochecer, noche y en momentos no especificados).

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:



L _{Aeq} (dBA)	L _{min} (dBA)	L _{max} (dBA)	L ₁₀	L ₅₀	L ₉₀	N ₁₀ (sones)
56,56	54,57	59,66	58,25	56,24	54,90	22,4

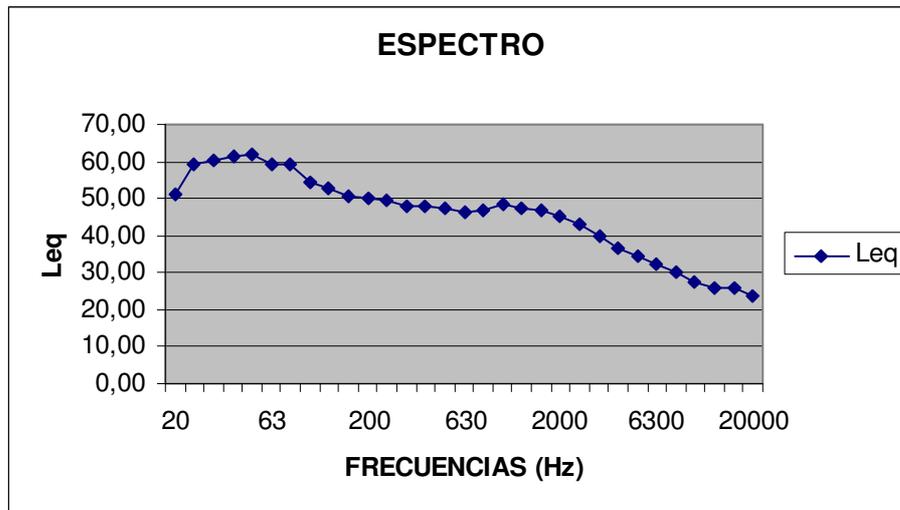
Tabla47. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

VARIABILIDAD	L ₁₀ -L ₉₀	N ₁₀ -N ₉₀
	3,35	12,54

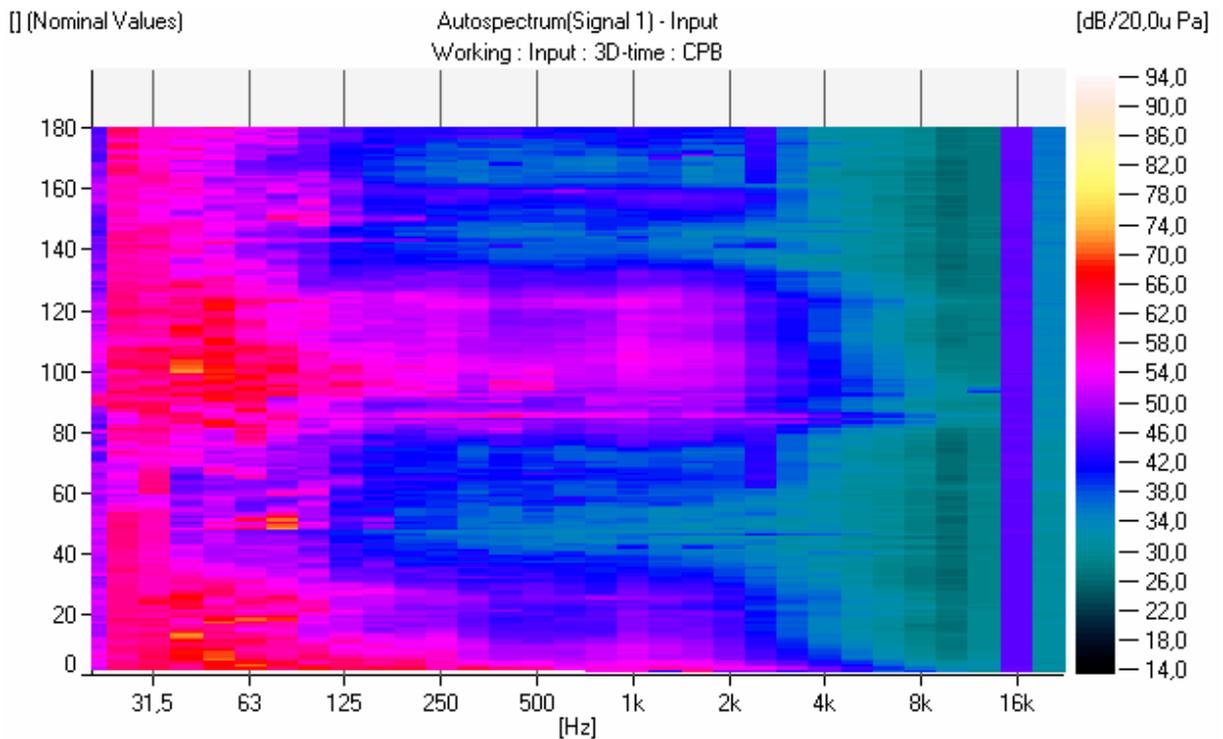
Tabla48. Parámetro de variabilidad calculado

L _{Ceq} -L _{Aeq}	L _{Aeq} (20-20000Hz)	L _{Ceq} (20-20000Hz)
10,72	56,67	67,39

Tabla49. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Grafica31. Espectro en el punto M3



Grafica32. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) obtenido con LabShop para la medida M3



Vemos como una vez más, predominan las bajas y las medias frecuencias, distinguiéndose un pequeño pico en los valores para 80Hz. Esto se debe a un ruido a muy baja frecuencia, de lo que parece un motor de alguna moto. Se distinguen perfectamente los intervalos en los que el tráfico es mayor en las líneas horizontales que se dibujan con colores más intensos (rosa y rojo).

De la escucha de las grabaciones destaca el sonido de las fuentes de agua que cuando se cierra el semáforo es el predominante.

Parámetros sobre la percepción subjetiva

Destaca que este punto no sólo no es valorado o percibido como ‘Bueno’ acústicamente hablando sino que es considerado un entorno sonoro ‘Malo’ por ser el valor promedio menor que 2 y porque sólo el 30% de los encuestados lo considera ‘Bueno’.

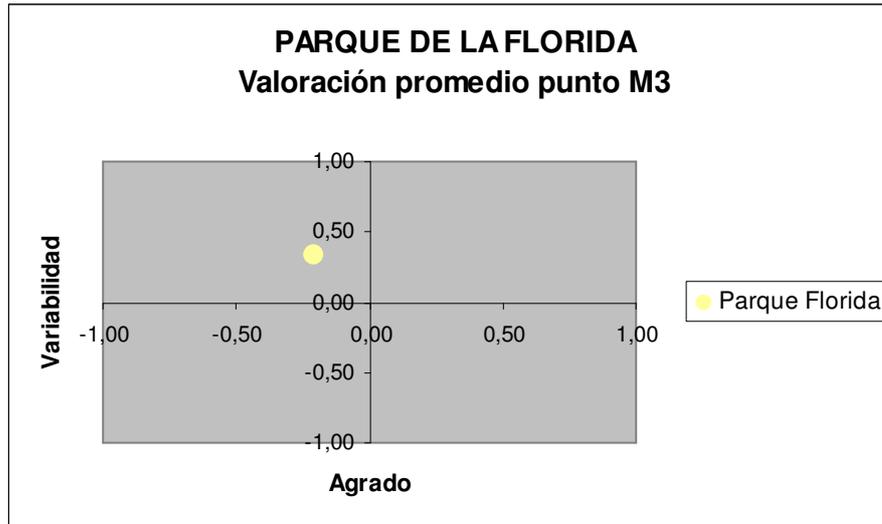
En este punto el ruido de tráfico es considerado predominante frente a otros sonidos que son menos percibidos. Entre los sonidos considerados naturales hay que destacar que se percibe el sonido del agua de la fuentes situadas cerca del punto. Otros sonidos son identificados, tales como la sirena del semáforo.

General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	4	3	3	2
1	4	3	3	0
0	3	1	1	1
3	3	2	2	2
3	3	3	2	2
1	4	1	2	0
2	4	2	2	0
2	3	3	2	0
1	3	1	2	0
1	4	3	2	2
1,7	3,5	2,2	2,1	0,9

Tabla50. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes

Una vez aplicada la fórmula se considera este espacio un sitio poco agradable (más bien desagradable) y variado en cuanto a eventos sonoros y fuentes de ruido se refiere. Siguiendo patrones anteriores se le atribuye el adjetivo de caótico.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica33. Representación gráfica bidimensional de la percepción del entorno sonoro en el punto M3 para un día festivo

Agradabilidad(X)	-0,21
Variabilidad (Y)	0,34

Tabla51. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

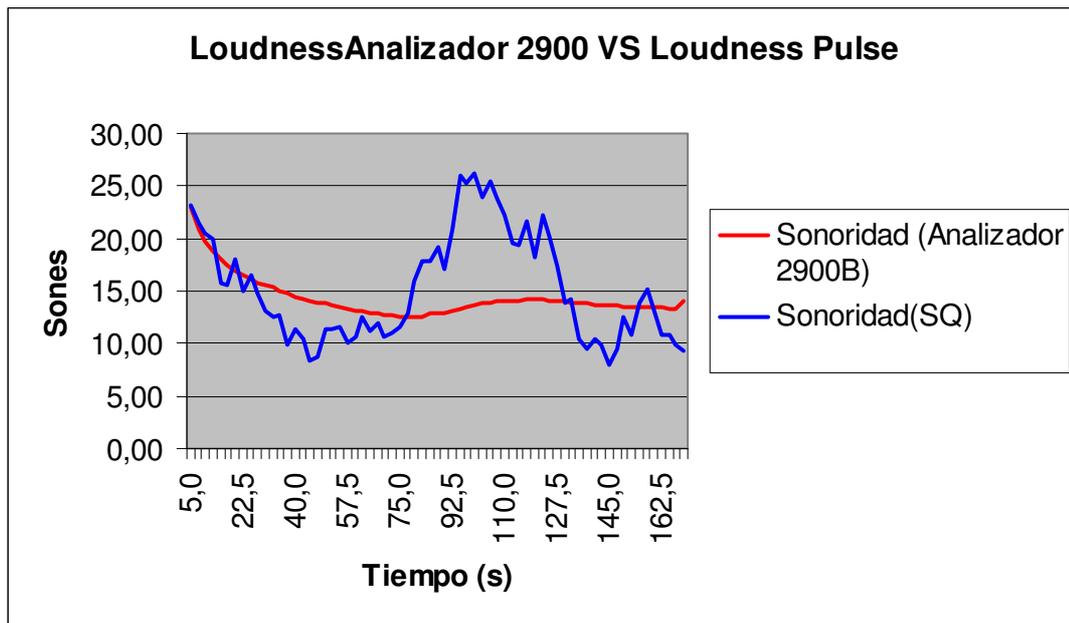
Parámetro psicoacústico

La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente obtenido en el analizador (LAeq= 58,8dBA) es de unos 20dB.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	14,71	15,20
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	78,79	79,26

Tabla52. Valores globales del Loudness para la medida M3

Del espectro de la sonoridad instantánea frente a la frecuencia y del análisis de la grabación se concluye que el aumento de la densidad de tráfico provoca un importante aumento de la sonoridad, esto ocurre cuando se abre el semáforo entre los segundos 80 y 130, intervalo en el que se observa un incremento de sonios. En los momentos en los que el semáforo permanece cerrado, se percibe predominantemente, el sonido de las fuentes de agua y la sonoridad es hasta 10 sonios menor. Se podría decir que el ruido de tráfico provoca, en este caso, un nivel de Loudness muy alto y que por lo tanto la sensación de molestia puede ser mayor para este tipo de ruido.



Gráfica34. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Cuarta medida; punto M4, quiosco

En este punto la mayoría de los encuestados coinciden en que pasan por el sólo para dirigirse a otro lugar y lo hacen en todos los momentos del día (mañana, mediodía, tarde, anochecer, noche y en momentos no especificados), pero varias personas manifiestan ir para encontrarse con alguien o simplemente caminar, esto puede deberse a que el quiosco es un lugar típico para quedar en Vitoria-Gasteiz y además según la época del año, alrededor de el se organizan eventos que te llevan a pasear por la zona.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
53,22	51,68	55,12	54,37	53,10	51,92	19,8

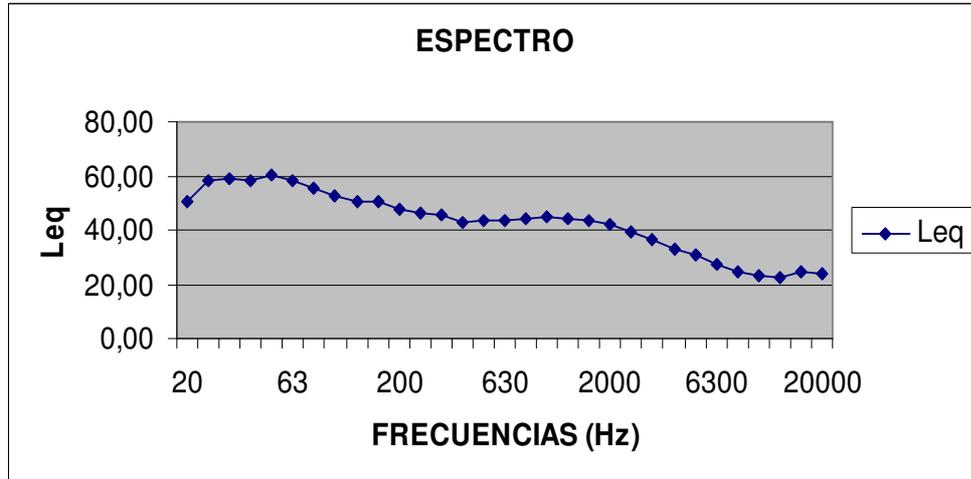
Tabla53. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	2,45	10,62

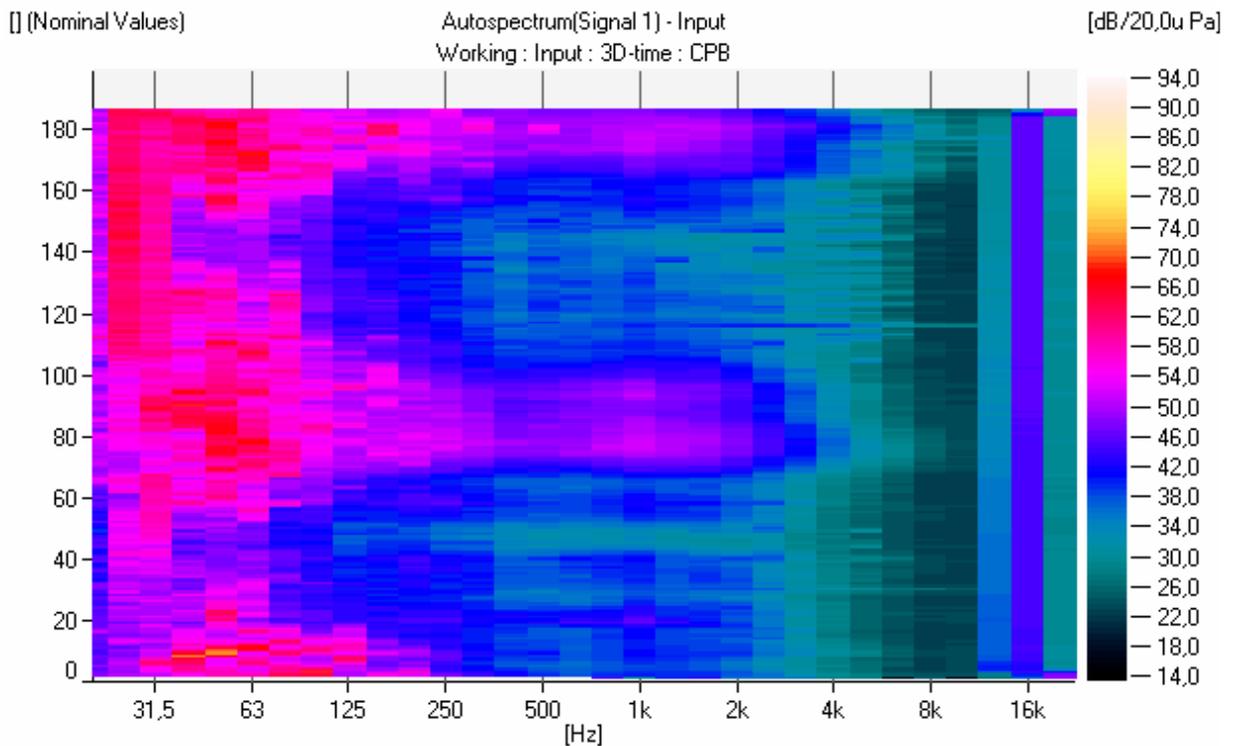
Tabla54. Parámetro de variabilidad calculado

LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
12,20	53,32	65,52

Tabla55. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Grafica35. Espectro en el punto M4



Gráfica36. Multi-espectro (nivel sonoro en función temporal y frecuencial) calculado mediante LabShop para la medida M4

Tal como ocurre en el resto de mediciones, en esta también predomina la componente frecuencial baja. Además, se observa un espectro bastante plano en comparación con el resto. El alto nivel a frecuencias bajas se atribuye al ruido de tráfico viario ya que se observa como cuando predomina este sonido los valores del nivel sonoro aumentan para esas frecuencias.

Parámetros sobre la percepción subjetiva

Tal como ocurre en puntos anteriores, el entorno sonoro en este punto no se considera ‘Bueno’, por no superar la percepción general el valor 3, aunque en este caso un 40% lo considere ‘Bueno’.



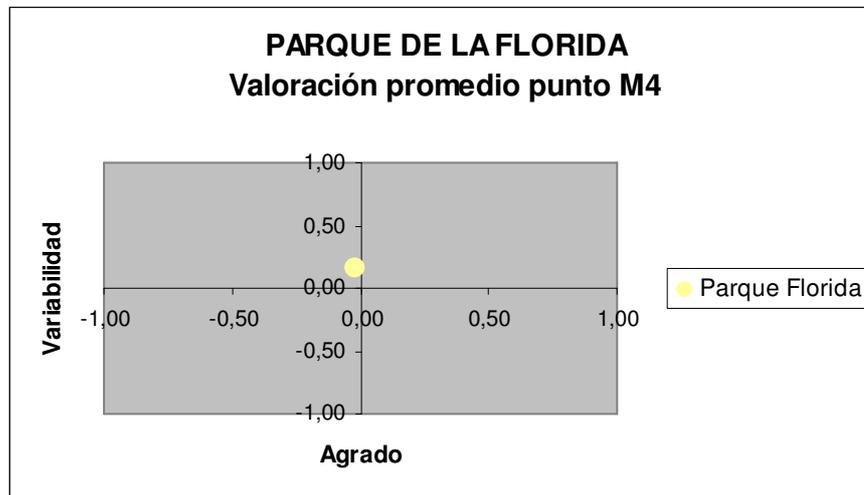
Predomina claramente y de forma contundente sobre los demás, el ruido de tráfico. Tan sólo los sonidos identificados como sonidos naturales, son percibidos de manera algo significativa, ya que los encuestados dicen oír entre poco y nada sonidos provenientes de humanos u otros tecnológicos.

General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	4	0	2	0
2	4	1	2	0
3	3	0	2	0
3	3	1	2	0
2	3	1	3	0
2	4	0	1	0
2	3	1	3	0
3	4	2	2	0
2	3	0	2	0
0	4	1	2	0
2,2	3,5	0,7	2,1	0,0

Tabla56. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de las diferentes fuentes de ruido

Una vez aplicada la fórmula no se considera este punto del parque ni agradable ni desagradable y si se define como algo variado, dicho de otro modo, no se considera un entorno monótono acústicamente hablando. Por ser más variado que monótono y un poco más molesto que agradable se considera que es algo caótico.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica37. Representación gráfica bidimensional de la percepción del entorno sonoro en el punto M4 para un día festivo

Agradabilidad(X)	-0,02
Variabilidad (Y)	0,16

Tabla57. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

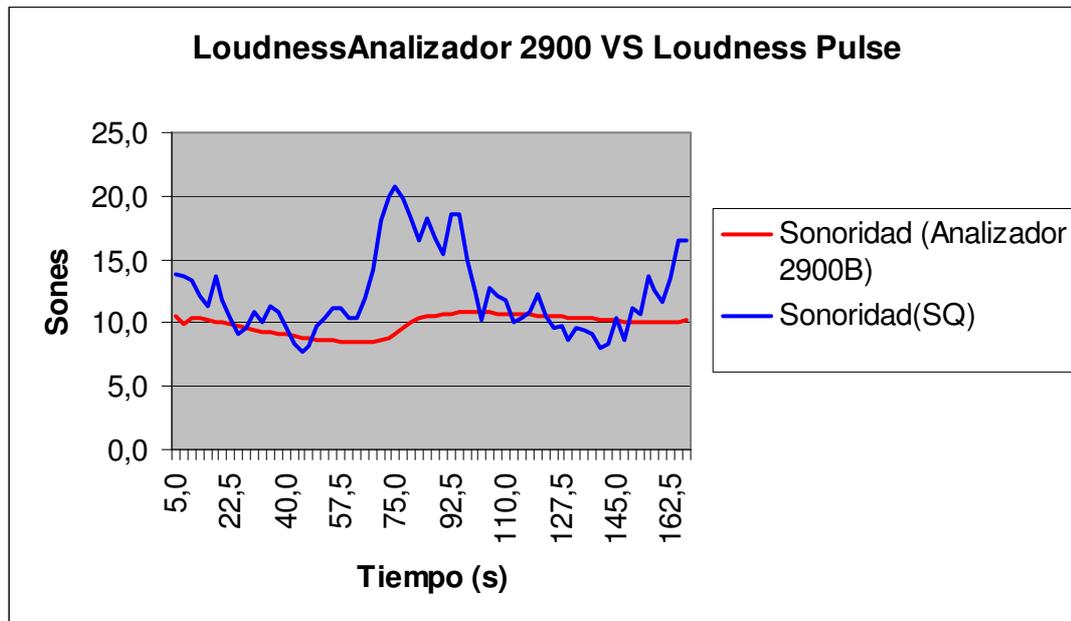
Parámetro psicoacústico

La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente (LAeq= 55,9dBA) es de unos 18dB, algo menor que en casos anteriores.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	9,90	13,00
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	73,08	77,00

Tabla58. Valores globales del Loudness para la medida M4

Al igual que ocurre en la medición hecha frente a el hotel (medición anterior), en este caso también se observa en el espectro un incremento de la sonoridad en los momentos en los que el semáforo permanece verde para el tráfico, es decir, en los momentos en los que predomina claramente el ruido de tráfico, cuyo espectro de emisión es rico a bajas y medias frecuencias. Esta vez el valor máximo alcanzado es algo menor que en el caso anterior, esto puede deberse a que la distancia entre el punto de medición y el foco emisor (Calle Ramón y Cajal y Calle Florida) es mayor en este punto.



Gráfica38. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Quinta medición; punto M5, bancos de colores

En este punto no destaca ningún motivo por el que los encuestados se acerquen, de hecho, varios de ellos, no suelen hacerlo. Como dato curioso, tenemos que los encuestados de mayor edad mencionan ir a ese lugar a descansar. Al contrario que en puntos anteriores, a los bancos se acercan en momentos no especificados, a la tarde, o simplemente no lo hacen, el resto de franjas horarias no se mencionan.

Parámetros físicos del sonido

En las siguientes tablas se presentan los resultados obtenidos:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90	N10 (sones)
48,58	46,69	52,45	50,23	48,21	46,98	14

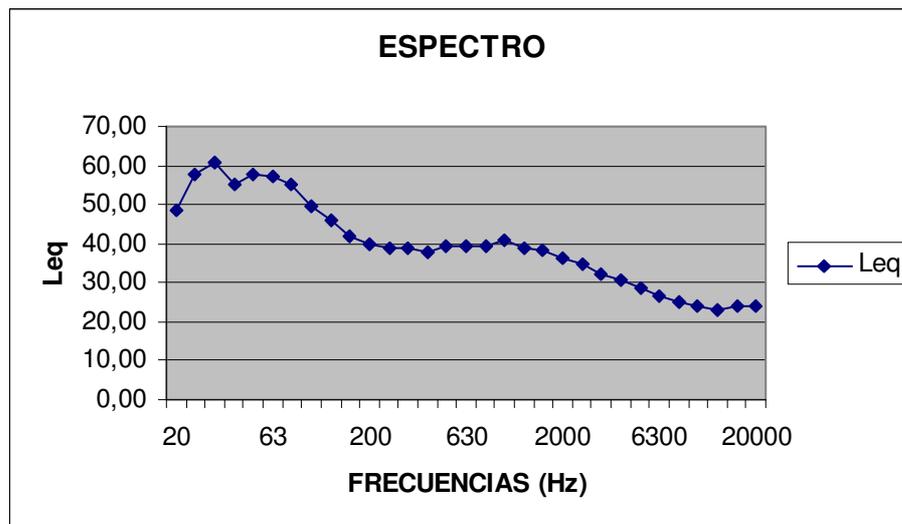
Tabla59. Presentación de los parámetros medidos con el Sonómetro

VARIABILIDAD	L10-L90	N10-N90
	3,25	6,3

Tabla60. Parámetro de variabilidad calculado

LCeq-LAeq	LAeq(20-20000Hz)	LCeq(20-20000Hz)
15,20	63,86	48,66

Tabla61. Indicador relativo de sonido de baja frecuencia calculado



Grafica39. Espectro en el punto M5

El espectro se mantiene lineal a partir de frecuencias medias- bajas, pero para las bajas frecuencias se observan valores muy altos. Una vez más, relacionamos estos niveles con el ruido de tráfico ya que en el momento en que este aumenta, se observa el aumento en los valores del nivel equivalente para las bajas frecuencias (25-100Hz).

Parámetros sobre la percepción subjetiva

Una vez más se considera el entorno sonoro más bien malo 'Malo'. Curiosamente el 60% de los encuestados lo considera 'Bueno' sin embargo, el resto lo valora como 'Malo' y esto hace que la media baje de manera que empeora la percepción general.

En el predomina el ruido de tráfico aunque se perciben también de manera notoria el canto de pájaros, así como otros sonidos provenientes de humanos, tales como conversaciones o paso de gente.

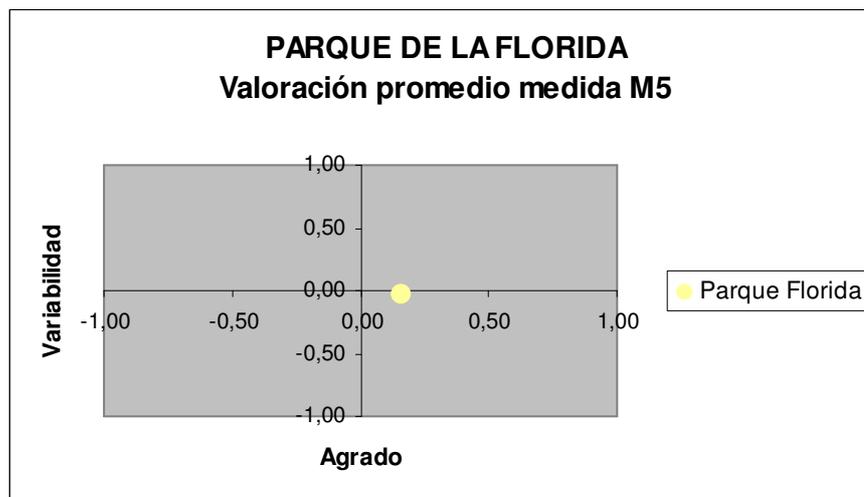


General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros
3	3	3	2	0
3	3	1	3	0
3	3	2	2	1
3	2	3	3	0
2	3	2	1	0
3	3	2	2	0
3	3	2	3	0
2	3	3	2	0
2	2	3	3	0
1	3	2	1	0
2,5	2,8	2,3	2,2	0,1

Tabla62. Resultados de la valoración general y evaluación del dominio de la diferentes fuentes de ruido

Tras realizar el cuantificación de los resultados obtenidos de las encuestas, se concluye que se percibe el sonido del parque de la Florida desde los bancos de colores situados en el centro, con un cierto nivel de agrado y aunque no de manera destacable, sí como un poco más monótono que variado.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica40. Representación gráfica bidimensional de la percepción del entorno sonoro en el punto M4 para un día festivo

Agradabilidad(X)	0,16
Variabilidad (Y)	-0,04

Tabla63. Coordenadas para la clasificación bidimensional del paisaje sonoro

Parámetro psicoacústico

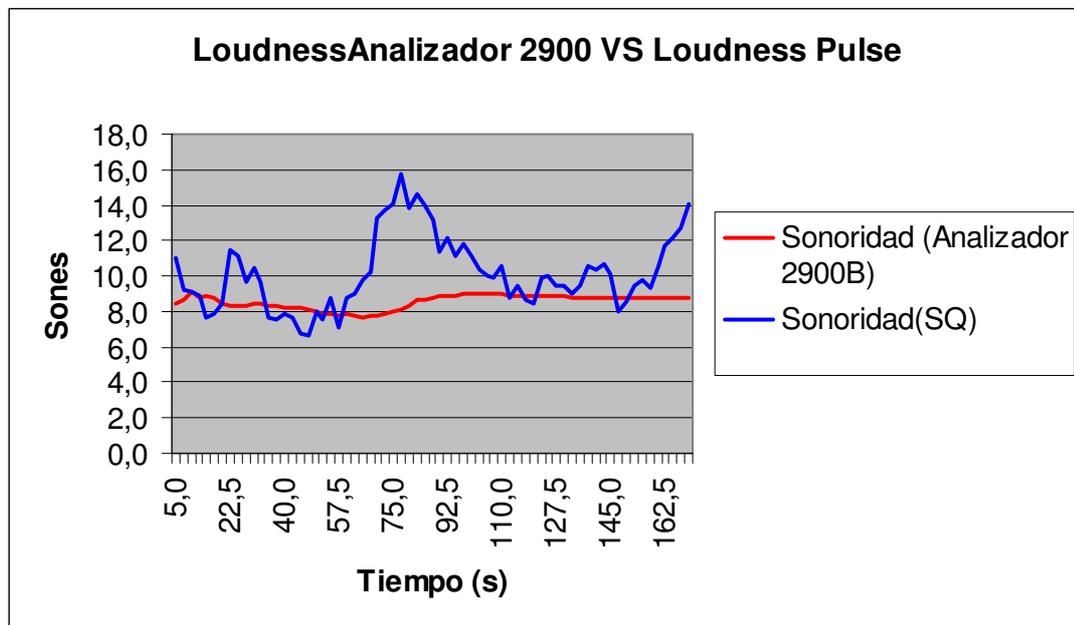
La diferencia entre el Nivel de sonoridad (Loudness medido en Fonios) y el nivel equivalente (LAeq= 50,1dBA) es muy grande, de unos 20dB.

	Analizador 2900	SQ-Pulse
SONORIDAD (Sn)	8,54	10,40
NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	70,95	73,79

Tabla64. Valores globales del Loudness para la medida M5

A continuación se muestra la gráfica de la variación de la sonoridad instantánea en el tiempo de medición que al igual que en los dos casos anteriores aumenta al aumentar el nivel sonoro y este a su vez aumenta con la aparición de ruido de tráfico, regulada por el semáforo. Además, 20 y 40 también aumenta la sonoridad debido al paso puntual de algún vehículo.

Los valores máximo y mínimos registrados son de 19,6 y 6,68 sonios respectivamente, existiendo una diferencia de más de 10 sonios, la cual es bastante significativa teniendo en cuenta que se triplica el valor más bajo. (recordar de los fundamentos teóricos que doblar el valor Loudness significa multiplicar por dos la sensación auditiva).



Gráfica41. Espectro temporal de la sonoridad dada por el PULSE y por el analizador 2900B

Relación entre las principales componentes, las propiedades acústicas y las fuentes de ruido

Las encuestas nos indican que el punto más agradable es el segundo, justo frente a la biblioteca, muy seguido por el primer punto (frente al parlamento), ambos presentan los valores más bajos en la percepción de ruido de tráfico. El punto más molesto, es el más cercano al hotel (M3), uno de los que más ruido de tráfico tiene combinado con otros tecnológicos como la sirena del semáforo.

Como ocurría en el análisis del día laborable, se concluye que el nivel de agrado, es inversamente proporcional a las fuentes de ruido tecnológicas como el tráfico. Por el contrario, va unido a las fuentes de ruido naturales (canto de pájaros, agua en movimiento etc) y a los sonidos producidos por humanos (conversaciones y juegos de niños).

Si reparamos en los niveles obtenidos (LAeq), observamos que existe cierta relación con el nivel, un mayor nivel se correspondería con una percepción más molesta. El factor



‘fuente de ruido predominante’, juega un importante papel, tal como se demuestra en la medida M5.

En este punto, se obtiene el menor nivel LAeq y no es valorado como uno de los más agradables. Además de las fuentes de ruido naturales, en este punto destaca también la alta percepción de ruido de tráfico, unida a las expectativas de que ese lugar fuese un lugar más tranquilo, con menor ruido de tráfico. Esto conlleva que a pesar de registrar el menor nivel, la percepción de agrado no sea tan alta. Por lo que se puede afirmar que el nivel de ruido no es tan importante como el tipo de ruido que se percibe, a la hora de valorar el nivel de agrado.

En cuanto a la variabilidad, las encuestas nos muestran que de manera general, los sonidos percibidos en el parque son variables y no monótonos, como se podría esperar de un parque diseñado para la relajación y la evasión.

Los encuestados asignan el atributo variado al entorno sonoro próximo al hotel y consideran que los puntos de la biblioteca y el parlamento ofrecen un entorno menos variado. Todo lo contrario obtenemos del primer indicador de variabilidad, ya que esos dos últimos entornos son los que mayor diferencia L10-L90 (parámetro indicador de la variabilidad) muestran y por tanto una mayor varianza en sus niveles (sonido de evento-ruido de fondo). Sin embargo, la diferencia entre la sonoridad registrada el 10% del tiempo y la registrada el 90% del tiempo indica que los puntos más variables del parque son precisamente aquellos considerados los más variables en la evaluación subjetivas, es decir, los punto M3 y M4, aquellos en los que predomina el ruido de tráfico intermitente cuya intermitencia provoca una alta sensación de variabilidad del entorno sonoro.

Por otro lado, se confirma la relación entre variabilidad y Laeq, ya que a mayor nivel, más de acuerdo se han mostrado los encuestados con el atributo variado. Lo mismo ocurre para el N10, sensación provocada en el sujeto el 10% del tiempo, más asociado a la percepción que el nivel equivalente.

En cuanto a la fuente de ruido predominante, de las encuestas se deduce, que el ruido tecnológico, concretamente el ruido proveniente del tráfico, es percibido como variable por los encuestados, mientras que los entornos en los que predominan ruidos provenientes de humanos o naturaleza, son considerados más monótonos.

Resultados de estudios anteriores avalan la teoría de que cuanto mayor es la componente frecuencial a bajas frecuencias, menor es la percepción de variabilidad del entorno. Así el punto más cercano al parlamento, M3, se ha considerado el más variable y su componente frecuencial baja la más pobre de las cinco. En todos los casos la diferencia entre el nivel ponderado C y el ponderado A es mayor de 10dB lo que es una diferencia importante que implicaría una corrección por componente frecuencial baja en el nivel total de hasta 3dB. Además, para el punto M5 esa diferencia es mayor que 15dB por lo que implica una corrección de 6dB.

El Loudness, describe la sensación que causa el sonido y a su vez la molestia a través de su análisis espectral y mediante un solo valor, el nivel de sonoridad, dado en fonios o la sonoridad expresada en sonios.

En nuestro caso, si reparamos a los valores de Loudness dados por el software SQ (Sound Quality), los puntos M3 y M4 poseen el loudness más alto, frente a el punto M1 que posee la más baja sonoridad.

La fuente de ruido predominantes en M3 es claramente el ruido de tráfico, mientras que para M1 predomina los sonidos provenientes de humanos, habla y risas. En el punto M5 predominan tanto el ruido de tráfico como el de la naturaleza. En ninguno de los tres puntos se perciben claramente otros ruidos tecnológicos como podría ser el procedente de obras (lógico por ser un día festivo), siempre según los encuestados.



A priori, se deduce que el hecho de que la fuente predominante sea una u otra puede influir en la sonoridad y que también lo hace el nivel equivalente, ya que un mayor nivel significa una mayor sonoridad. De hecho es este último el que realmente guarda una estrecha relación con la sensación auditiva ya que no puede demostrarse totalmente que la fuente sonora incida de manera clara sobre la sonoridad.

Es realizado el análisis de las características de los puntos que mayor y menor loudness presentan (M3 el mayor y M1 el menor, con 8 fonios de diferencia) y se concluye que los parámetros que más inciden sobre el nivel del loudness son, el indicador de la sensación de sonoridad superada el 10% del tiempo junto con el nivel equivalente ponderado A, por ser ambos los que mayor proporcionalidad guardan con el Loudness.

3.2.3.3 Comparación de resultados del día laborable frente a el día festivo

Empezando por los niveles de ruido, es evidente que en el día festivo se registran niveles mucho menores, con una diferencia de hasta 6dB entre laborable y festivo. Sin embargo, si reparamos en los niveles registrados durante el 50% de las mediciones, lo que sería el nivel medio de cada medida, las diferencias en un mismo punto de medida entre día laborable y festivo puede llegar a ser de hasta 10dB. Aunque esto sólo ocurre para la medida M5 donde la influencia del tráfico en días laborables es muy alta y baja notablemente en días festivos. En los demás casos la diferencia es de entre 3 y 6dB.

Se presenta un ejemplo del caso más extremo, medida realizada en los bancos de colores, M5:

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90
61,79	60,01	64,21	63,19	61,65	56,14

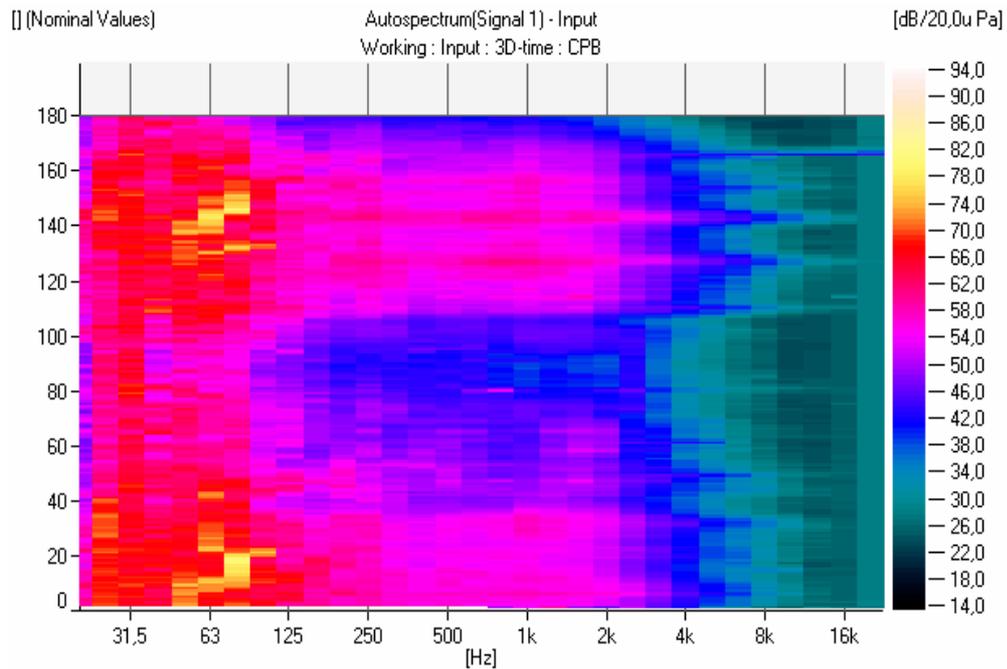
Tabla29. Resultados para día laborable medida M5

LAeq (dBA)	Lmin (dBA)	Lmax (dBA)	L10	L50	L90
48,58	46,69	52,45	50,23	48,21	46,98

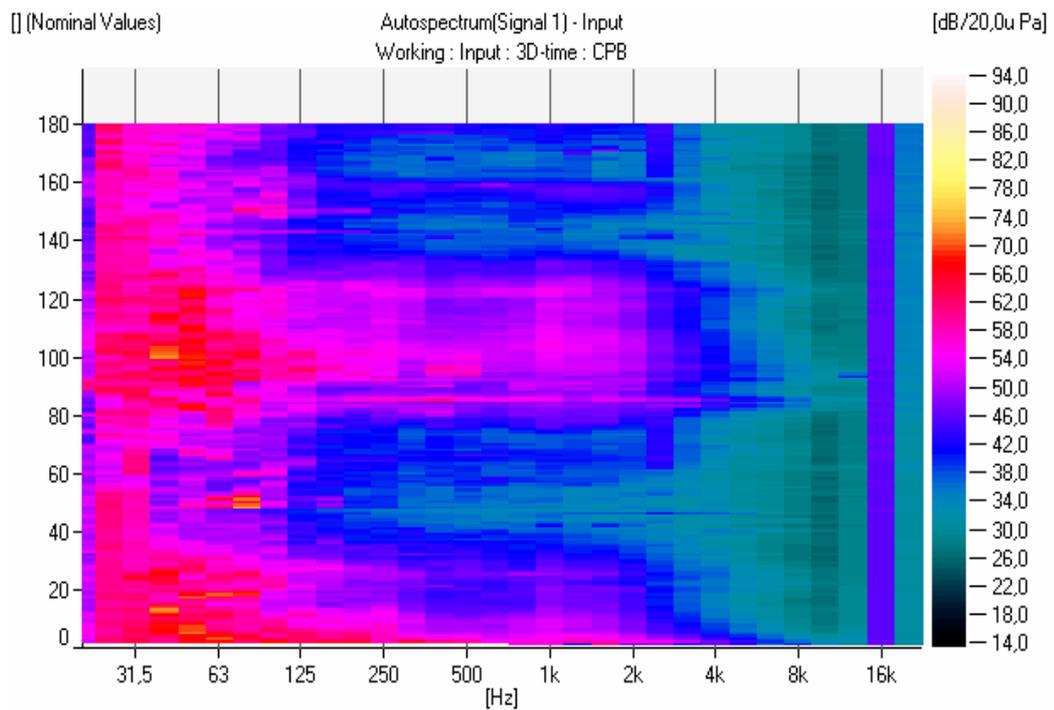
Tabla59. Resultados para día festivo medida M5

Se hace un análisis de los espectros para concluir que aunque en ambos casos predomina la componente frecuencial baja y que en general la curva sigue el mismo patrón, en los días festivos se aprecia claramente que disminuye mucho la densidad del tráfico ya que a bajas frecuencias los niveles se mantienen más bajos durante más tiempo y no son tan notables los cambios cuando el semáforo que regula el tráfico viario más influyente (C/ Florida y C/ Ramón y Cajal) se cierra o abre (ver multi-espectros de las mediciones en el análisis del día laborable y compararlo con el día festivo).

Se muestra un ejemplo claro de lo expuesto en el párrafo anterior:



Gráfica13. Multi-espectro de la medida M3 en día laborable



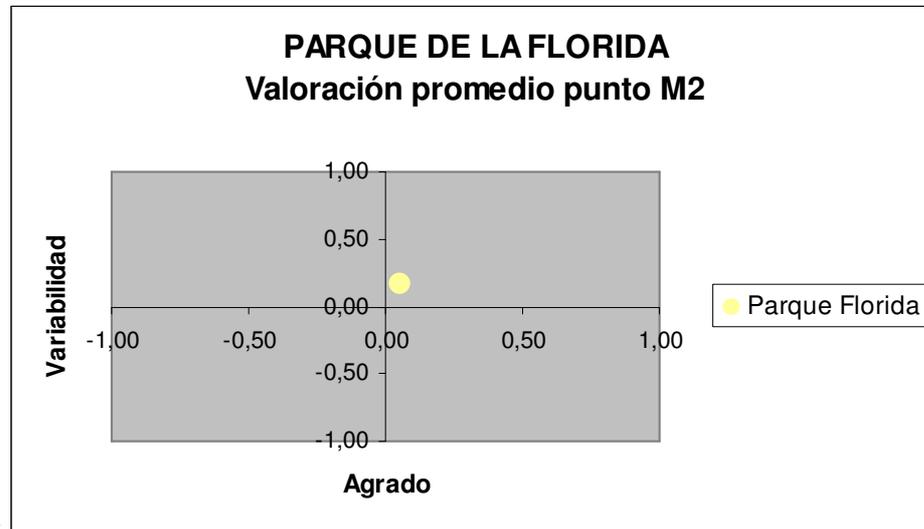
Gráfica32. Multi-espectro de la medida M3 en día festivo

Los datos obtenidos de las encuestas realizadas en día laborable y festivo no distan mucho entre sí pero la categoría o adjetivos que se le asignan son muy diferentes, es decir, aunque la diferencia de coordenadas no es gigantesca, su significado cambia mucho.

De este modo y siempre según los datos cuantificados obtenidos de las encuestas, mientras que en un día laborable se percibe de manera general el entorno sonoro como algo molesto y variado, el día festivo lo hace como algo agradable y variado, con un nivel de variación

algo más bajo. Por ello, para el primer caso se le atribuye al entorno el descriptor caótico y a el segundo el excitante.

A continuación se presenta la gráfica con las coordenadas asignadas a las dos principales componentes, descriptoras de la percepción subjetiva:



Gráfica42. Representación gráfica bidimensional de la percepción del entorno sonoro del Parque de la Florida para días laborable y festivo

Una de las mayores diferencias entre días laborables y festivo, en cuanto a percepción se refiere, está en la escasa identificación de ruido de otras fuentes tecnológicas como podrían ser obras y el aumento por otro lado de la percepción de fuentes naturales, como el cantar de los pájaros o las fuentes de agua existentes en el parque, que en días laborables, a consecuencia del enmascaramiento por parte del tráfico no son percibidas. Lo que probablemente haga que se valore el paisaje sonoro más agradable un día festivo. Como ejemplo de esto tenemos la medición realizada en el punto M3, donde el nivel de agrado es mayor un día festivo (valor de agradabilidad -0,21 frente a -0,32 día laborable) gracias el aumento en la percepción de fuentes naturales, las fuentes de agua situadas cerca del punto de medida más concretamente, y a el decremento de otras fuentes tecnológicas como obras.

Visualmente el lugar tampoco obtiene la calificación de 'Bueno' bien sea por el estado del inmueble urbano (ocurría sobre todo en los bancos de colores que están muy mal cuidados) o por suciedad en el propio parque.

A continuación se presentan las tablas con los resultados promediados de todas las encuestas, para los diferentes tipos de días:

Punto de Medida	General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros	Expectativa	Visual
M-1	2,8	2,1	2,5	0,9	1,5	SI	2,7
M-2	2,46	2,31	2,62	1,08	1,85	SI	3
M-3	1,64	3,64	1,82	0,82	2,27	SI	2,5
M-4	1,9	3,6	1,8	1,3	1,7	NO	3
M-5	2,10	3,50	1,30	2,30	1,60	NO	3,3
Promedio	2,2	3,0	2,0	1,3	1,8	SI	2,9

Tabla65. Resultados obtenidos sobre la percepción general del paisaje sonoro que nos ofrece el Parque de la Florida en un día laborable



Punto de Medida	General	R. Tráfico	R. Humanos	R. Naturaleza	Otros	Expectativa	Visual
M-1	2,6	1,5	3,1	1,9	0,0	SI	2,6
M-2	2,60	2,00	2,40	2,90	0,00	SI	2,8
M-3	1,7	3,5	2,2	2,1	0,9	SI	2,4
M-4	2,2	3,5	0,7	2,1	0,0	NO	2,7
M-5	2,3	2,6	2,1	2,3	0,2	NO	2,6
Promedio	2,3	2,6	2,1	2,3	0,2	SI	2,6

Tabla66. Resultados obtenidos sobre la percepción general del paisaje sonoro que nos ofrece el Parque de la Florida en un día laborable

El loudness o nivel de sonoridad es algo inferior en el día festivo por registrarse este día menores niveles sonoros. La mayor diferencia se da en el punto situado frente al Hotel donde los resultados son los siguientes:

		SQ-Pulse
LOUDNESS LAB	SONORIDAD (Sn)	18,40
	NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	82,02
		SQ-Pulse
LOUDNESS FEST	SONORIDAD (Sn)	15,20
	NIVEL DE SONORIDAD (Ph)	79,26

Tabla67. Tabla comparativa del nivel de sonoridad obtenido en día laborable(Loudness_lab) y el obtenido en día festivo(Loudness_fest para la medición M3)

En este punto predomina el ruido de tráfico y al ser el sonido que más disminuye en el día festivo y uno considerado de los más molestos, la sonoridad también disminuye algo más para este punto que para otros, a pesar de que sigue siendo el punto que mayor sonios registra.

Se comparan los espectros temporales del Loudness y se concluye que apenas varían para los puntos donde el ruido de tráfico no es predominante, es decir, los puntos M1 y M2, simplemente presenta máximos más bajos y picos en otros momentos de la medición. En los puntos en los que predomina el ruido de tráfico intermitente, los días festivos se aprecia mucho mejor aquellos momentos en los que el semáforo esta abierto para el tráfico con una notable subida del nivel sonoro y por lo tanto también de la sonoridad. Esta diferencia es más apreciable en días festivos porque en los laborales, la diferencia de nivel entre los momentos de mucho tráfico y los de poco tráfico no es tan grande.

3.2.5 CONCLUSIONES

El área que envuelve el parque de la Florida, es considerada a primera vista, como un lugar tranquilo al que uno puede venir a pasear y relajarse. Un área en el que no deberían superarse ciertos niveles de inmisión sonora. Sin embargo, los datos nos indican otras cosas.

En general se considera que la calidad acústica es mala cuando el paisaje sonoro nos conduce a una sensación de desagrado, molestia y caos. Esto ocurre en las mediciones realizadas en el día laborable, por lo que se considera el entorno acústico en esos días, de mala calidad.



Tras reunir las evaluaciones individuales en cada punto, consideramos que el entorno sonoro del parque no es percibido como ‘Bueno’ y se puede concluir que se debe a la alta percepción que se tiene del ruido proveniente del tráfico viario de las calles de alrededor y lo poco que se identifican o que llegan al oyente las fuentes de ruido naturales. De hecho, aunque en una evaluación global, el entorno urbano sí cumple las expectativas acústicas, en muchos casos, los oyentes afirman estar molestos por las escasas fuentes naturales y el excesivo ruido de tráfico que se percibe en lugares que se suponen para el descanso y la tranquilidad, es más, se puede decir que el ruido de tráfico consigue influir notoriamente en la valoración final del oyente. El mejor ejemplo de esto es el punto de medida M5 (banco de colores) que no supera las expectativas en ningún caso, a pesar de ser el punto en el que más fuentes de ruido naturales se identifican. Queda así demostrado que la percepción subjetiva depende de la actitud del oyente y las expectativas que tiene.

De la evaluación de la relación existente entre las principales componentes, propiedades acústicas y fuentes de ruido, se concluye que el nivel de agrado, se relaciona positivamente con el predominio de fuentes de ruido naturales o de humanos mientras que lo hace negativamente con el nivel sonoro equivalente, la variabilidad o los sonidos el ruido de fuentes tecnológicas, tráfico viario en la mayoría de los casos. No se establece relación lógica entre el nivel de agrado y la proporción relativa de bajas frecuencias.

Del análisis general de la segunda componente, variabilidad, se concluye que guarda una relación positiva con el nivel sonoro registrado. Existe también, una asociación lógica entre la percepción de variabilidad y el nivel de variabilidad medido como (N10-N90). No sin embargo, con el indicador de variabilidad L10-L90. Tanto en las mediciones realizadas en el día laborable como en las realizadas en día festivo, los oyentes consideran más variados los entornos en los que predomina el ruido de tráfico frente aquellos en los que predominan otros sonidos como el gritar de niños, paso de gente o canto de pájaros. Esto puede deberse a el carácter aleatorio que presenta el ruido de tráfico viario de calles. Por ser este tráfico intermitente, regulado con semáforos, existen grandes diferencias entre la percepción cuando este se para y cuando fluye, debido a que enmascara sonidos que se perciben cuando el semáforo marca rojo.

Además, esto influye en que los sonidos con proporción relativa a bajas frecuencias alta, se valoren como variados.

De los análisis de la sonoridad o Loudness, se concluye el que valor del nivel de sonoridad está fuertemente influenciado por el nivel sonoro existente o medido en el entorno, tal como apuntaba Zwicker ‘un cambio relativo en la sonoridad supone un cambio proporcional en el nivel sonoro’. No se encuentra relación con el parámetro indicador de la proporción relativa de sonido a bajas frecuencias, que cuanto mayor es, menor es la sonoridad, ya que, varios estudios avalan la teoría de que un tono de baja frecuencia provoca una sensación de percepción más ‘suave’ que uno de alta frecuencia y por lo tanto necesita mayor potencia sonora para que la sensación auditiva sea la misma.

No existen relaciones estrechas con otros parámetros como la fuente de ruido predominante, donde se esperaban encontrar relaciones directas con el ruido tecnológico, en este caso ruido de tráfico de calles e incluso con ruidos procedentes de la naturaleza. Aunque el punto donde predomina muy claramente el ruido de tráfico si que presenta una sonoridad destacable de las demás.

Observando los espectros temporales se concluye que un cambio brusco en el nivel provoca un aumento alto de la sonoridad asociada a la molestia que causan este tipo de ruidos impulsivos.

Ha de mencionarse que no existe una diferencia muy grande entre los resultados obtenidos en los diferentes puntos de medición y eso nos lleva a que las conclusiones no sean tan

claras y en muchos casos no se establezcan relaciones directas entre unos parámetros y otros.

3.2.6 PROPUESTAS DE MEJORA

De las conclusiones se deduce que para que un espacio resulte acústicamente agradable ha de fomentarse la percepción de fuentes sonoras naturales intentando enmascarar o reducir las fuentes tecnológicas, tráfico sobre todo.

Teniendo en cuenta que el tráfico viario (que es el que predomina en este estudio) es de componente frecuencial baja, resulta difícil enmascararlo por lo que se proponen medidas como la reducción de la velocidad en las calles de Florida y Ramón y Cajal, reduciendo el límite hasta 30 Km/h y dado que se trata de un parque en el mismo centro de la ciudad, se propone también la creación de una barrera o pantalla acústica vegetal, mediante vegetación como matas, pequeños árboles frondosos etc, de esta forma fomentaríamos también el sonido de las hojas en movimiento.

También se propone la mejora de la calidad de las fuentes de agua situadas alrededor del quiosco, potenciando su emisión, ya que queda demostrado que un aumento en su percepción mejora hasta en 0,11 puntos el nivel de agrado subjetivo y por tanto la calidad del entorno.

3.3 CARACTERIZACIÓN VISUAL

Tal y como se comentaba en la presentación de la metodología y protocolo de medida, se tomarán instantáneas alrededor de cada punto de medición con el fin de obtener soporte visual de cada lugar. Además, se pretende realizar panorámicas 360° para poder realizar estudios posteriores cumplimentando la información sonora (registrada mediante el dispositivo de grabación en formato DAT) con la obtenida de las fotografías.

En consecuencia, se realizan una media de 12 fotografías en cada lugar de medición (en nuestro caso, frente al parlamento, biblioteca o centro cultural, junto al paso de cebr que nos lleva al paseo de la senda, en el quiosco y en los bancos de colores) con una cámara digital Olympus colocada sobre un trípode especial para este tipo de actividades.

Posteriormente, en el laboratorio, se realizarán las panorámicas utilizando el software Panorama Maker versión5.

Se trata de un sencillo programa que realiza panorámicas 360° de manera automática, a partir de las fotografías seleccionadas por el usuario. El mismo programa te permite además, interactuar con la vista 360° de manera que puedes observar el parque desde la perspectiva que elijas situándose el punto o eje central en el lugar exacto de la medición.

A continuación se presenta un ejemplo de los resultados obtenidos:



Fotografía panorámica realizada de manera automática para el punto M4.



4 - CONCLUSIONES



Tras el diseño de la herramienta de medición y las pruebas realizadas en el parque de la Florida se concluye lo siguiente:

- ❖ Es mucho mejor medir todos los parámetros con un solo instrumento y luego hacer los cálculos pertinentes desde el laboratorio. De esta forma, simplificamos mucho el trabajo de campo, de manera que una sola persona puede realizarlo cómodamente. Pero para eso, es imprescindible que los aparatos de medida y sobre todo de grabación se encuentren en buenas condiciones.
- ❖ En cuanto al protocolo de medida los resultados indican que es óptimo y está bien estructurado.
- ❖ Haciendo un análisis de las diferentes caracterizaciones realizadas del espacio urbano que se quiere evaluar, se concluye que todas son importantes y necesarias. En primer lugar la caracterización previa nos predice los niveles o las características sonoras a las que nos vamos a enfrentar, información importante para crear unas expectativas e incluso para elegir los puntos en los que se realizarán las mediciones posteriores. En segundo lugar, la caracterización sonora, por supuesto imprescindible pero de la que han de definirse mejor los pasos definitivos. Por último la caracterización visual que aporta información visual muy importante para evaluaciones posteriores desde laboratorio.
- ❖ Como se comentaba en el punto anterior en la caracterización sonora obtenemos buenos resultados de algunos parámetros y no tan buenos de otros. Uno de los más importantes es el Loudness o sonoridad para el que se adoptan dos metodologías diferentes, por un lado, mediante el analizador 2900B y por otro, utilizando el software Sound Quality del PULSE. El loudness medido mediante el analizador 2900 no es exactamente el mismo que el medido con el Sound Quality Type 7698 del Pulse porque mientras este hace un análisis instantáneo cada 2,5 segundos desde el segundo 5 hasta el 180 y nos devuelve la media de los valores obtenidos para cada intervalo (entre otros), el analizador 2900 hace el promediado también cada 2,5 segundos, pero va calculando el promedio acumulativo, no el instantáneo de cada pequeño intervalo. Es decir, saca un valor para 2,5 primeros segundos, el siguiente lo hace con ese valor y los siguientes 2,5 segundos y así hasta el segundo 180. además de ser más veraz el valor que nos devuelve el software, este nos permite hacer otros muchos cálculos, tanto de la sonoridad como de otros parámetros psicoacústicos no estandarizados. Además, su manejo es práctico y muy sencillo. Por todo esto se recomienda esta metodología para la evaluación del Loudness.
- ❖ Otro factor importante para la utilización del Sound Quality es que nos permite calcular los percentiles de sonoridad que tras el análisis de los resultados obtenidos en nuestro estudio se relacionan mucho mejor con la percepción subjetiva. Esto ocurre sobre todo para la medición objetiva de la variabilidad que se hace calculando L10-L90 y N10-N90 y se obtienen mejores resultados con este último cálculo por lo que se recomienda el uso de la diferencia de los percentiles de sonoridad como parámetro indicador de variabilidad de un entorno sonoro. Además también podemos calcular el multi espectro que se obtiene con LabShop por lo que también evitamos ese paso.



5 - DESCRIPCIÓN DE LA HERRAMIENTA DEFINITIVA PARA LA EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE UN ENTORNO SONORO



Se ha diseñado una herramienta práctica mediante la que podemos determinar la calidad sonora de un entorno según sus propiedades físicas y de percepción. Se pretende que dicha herramienta sea de utilidad en los planes de acción para la mejora del medioambiente sonoro y que sus resultados puedan tenerse en cuenta en futura planificación urbana. Se define la herramienta diseñada en dos procesos:

- ❖ **Trabajo de campo.** Realización por un lado, de las mediciones para la caracterización de los diferentes focos de ruido que inciden en el lugar, siguiendo la norma [Ref.25]. Por otro, un paseo sonoro al mismo tiempo que se toman las medidas de los parámetros físicos descritos en apartados anteriores y las respuesta subjetivas de la percepción del entorno sonoro y por último se toman fotografías 360° del lugar. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se hará el registro de las grabaciones con un nuevo dispositivo de grabación digital y el sonómetro utilizado en esta ocasión. No se precisará la utilización del analizador 2900 para el trabajo de campo ya que, tal como se ha venido comentando, los cálculos de sonoridad se harán mediante el Sound Quality. Además, no será necesaria la medición de percentiles mediante el sonómetro por razones expuestas en el apartado de conclusiones.
- ❖ **Trabajo en el laboratorio.** Por un lado, se hará un análisis de los parámetros obtenidos del sonómetro: Nivel equivalente ponderado y sin ponderar, máximos y mínimos, proporción relativa de bajas frecuencias en la señal y espectro frecuencial de la señal auditiva. De las grabaciones realizadas en los diferentes puntos se capturarán conectando el dispositivo de grabación al instrumento PULSE, analizador de señales, para obtener por un lado el multi espectro mediante el software LabShop y por otro el análisis de la sonoridad mediante el software Sound Quality Type 7698. por otro lado, se procederá a la cuantificación de las respuestas obtenidas de las encuestas y evaluación de las relaciones que se establecen entre todos los parámetros objetivos medidos y calculados y la percepción subjetiva.

Una vez finalizadas las etapas, se hace un análisis de los resultados obtenidos de modo que caracterizamos el parque acústicamente y lo clasificamos según los datos subjetivos y objetivos. Del estudio de resultados sacamos conclusiones como qué tipo de fuente de ruido resulta agradable y cual causa molestia. Además, se determina el grado de implicación de cada fuente, cuales enmascaran a cuales y el efecto que tiene este fenómeno. Estas conclusiones, nos llevan a las posibles mejoras que se pueden hacer en el entorno estudiado para que resulte más agradable o simplemente a tomarlo como un ejemplo a seguir y por tanto promocionar ('Paisaje Sonoro Positivo') en futuros planeamientos urbanísticos, además de ser un espacio en el que prevenir futura contaminación acústica.



6 – APLICACIONES



Introducción

Una de las aplicaciones de la herramienta para medir la calidad del entorno sonoro que nos ofrece un espacio urbano, debería ser incluirla en los planes de acción diseñados para mejorar el ambiente sonoro y con esto cumplir con las necesidades de los habitantes de un espacio para con su entorno acústico.

Un plan de acción elaborado para la mejora del ambiente sonoro y por tanto en materia de contaminación acústica, tiene entre otros los siguientes objetivos:

- a) Afrontar globalmente las cuestiones concernientes a la contaminación acústica en la correspondiente área o áreas acústicas.
- b) Determinar las acciones prioritarias a realizar en caso de superación de los valores límite de emisión o inmisión o de incumplimiento de los objetivos de calidad acústica.
- c) Proteger a las zonas tranquilas en las aglomeraciones y en campo abierto contra el aumento de la contaminación acústica.

Para la elaboración de un plan de acción se deben desarrollar y definir los siguientes apartados:

Descripción de la zona de estudio:

Tal como se hiciera en la elaboración del mapa de ruido consiste en situar y definir la zona para la que se va a realizar el plan de acción.

Definir quién será la autoridad responsable:

La normativa sobre ruido ambiental establece objetivos de calidad acústica en función de niveles de ruido totales, es decir, considerando de manera conjunta todos los focos de ruido ambiental: tráfico viario, tráfico ferroviario, actividad industrial y tráfico aeroportuario.

Aunque la gestión independiente de los diferentes focos de ruido ambiental pertenezca a diferentes administraciones, la gestión global debe realizarse en los municipios, ya que es en su territorio donde se produce la afección por diferentes focos de ruido ambiental. Por lo tanto, son los Ayuntamientos los que tienen las competencias para realizar la suma de todos los focos de ruido que les afecten, con objeto de determinar, por un lado, las zonas más expuestas al ruido y que estén superando los niveles establecidos y por otro, las zonas que desde un punto de vista acústico están menos expuestas y que además en función de los niveles de ruido que presenten pueden considerarse zonas tranquilas, atendiendo a los objetivos de calidad acústica que establece el *RD. 1367/2007* para estas zonas.

Cuando alguno de los emisores de ruido que cause impacto en el municipio de sea competencia del ayuntamiento, se recurrirá a la elaboración de un Plan de Acción en colaboración con otras administraciones.

En función de los resultados obtenidos en el Mapa de ruido del municipio, los Ayuntamientos deberán definir un plan de acción a 5 años que, para el cumplimiento de la Ley 37/2003 del ruido, tenga como objetivos generales: afrontar globalmente las cuestiones, definir actuaciones prioritarias y proteger zonas tranquilas.

Determinar cuál es el contexto jurídico en el que se realiza el estudio y por tanto el plan de acción:



La normativa sobre ruido ambiental, viene definida a nivel estatal por la Ley 37/2003 del ruido, desarrollada en los Reales Decretos, RD.1513/2005 y RD.1367/2007, esta normativa básica y de desarrollo establece que:

- *Ley 37/2003, Art. 14.1-b*: Han de elaborarse y aprobar **mapas de ruido no estratégicos** de aquellas zonas en las que se compruebe el incumplimiento de los objetivos de calidad acústica, previo trámite de información pública de 1 mes.
- *Ley 37/2003, Art. 22*: Aprobar un **plan de acción**, previo trámite de información pública de 1 mes con las actuaciones previstas para un periodo temporal de cinco años.
- *RD.1367/2007, Art.13*: Aprobar la **zonificación acústica**, la cual define los objetivos de calidad acústica en el municipio en base a los usos predominantes del suelo, usos tanto consolidados como previstos. El plazo límite para aprobar la zonificación acústica es Octubre 2012.

Una vez se dispone de una evaluación de los niveles de ruido en el municipio, la Autoridad competente deberá:

- *Ley 37/2003, Art. 25*: declarar las **zonas de protección acústica especial**, o lo que es lo mismo las áreas donde se incumplen los objetivos de calidad acústica aplicables, y además, elaborar en las zonas de protección acústica especial, **planes zonales específicos**. Estos planes zonales tendrán por objetivo la mejora progresiva del medio ambiente hasta alcanzar los objetivos de calidad acústica que sean de aplicación, deberán concretar: medidas a aplicar, responsables, presupuesto y financiación si es posible.
- Además en el Anexo V del RD.1513/2005 se presentan los requisitos mínimos de los planes de acción, se exponen a continuación, ya que son la guía para la redacción del documento objeto de este informe:

RD.1513/2005, ANEXO V. Requisitos mínimos de los planes de acción.

Los planes de acción incluirán, como mínimo, los elementos siguientes:

1. Descripción de la aglomeración, los principales ejes viarios, los principales ejes ferroviarios o principales aeropuertos y otras fuentes de ruido consideradas.
2. Autoridad responsable.
3. Contexto jurídico.
4. Valores límite establecidos con arreglo al artículo 5.4 de la Directiva 2002/49/CE.
5. Resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido.
6. Evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido, determinación de los problemas y las situaciones que deben mejorar.
7. Relación de las alegaciones u observaciones recibidas en el trámite de información pública de acuerdo con el artículo 22 de la Ley del Ruido.
8. Medidas que ya se aplican para reducir el ruido y proyectos en preparación.
9. Actuaciones previstas por las autoridades competentes para los próximos cinco años, incluidas medidas para proteger las zonas tranquilas.
10. Estrategia a largo plazo.



11. Información económica (si está disponible): presupuestos, evaluaciones coste-eficacia o costes-beneficios.

Determinar cuáles son los valores límite u Objetivos de Calidad Acústica

Los objetivos de calidad acústica (en adelante OCAs) están definidos en el RD.1367/2007 en el Anexo II, para los tres índices de ruido, L_d , L_e y L_n , que representan los niveles promedio anuales en los periodos día (7 a 19 horas), tarde (19 a 23 horas) y noche (23 a 7 horas) respectivamente. Estos índices de ruido hacen referencia a niveles de ruido totales, es decir, teniendo en cuenta todos los focos de ruido ambiental. [Ref.9]

Evaluación del número de personas expuestas al ruido y determinación de los problemas y situaciones a mejorar

Se trata por un lado de la evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido y por otro, a la determinación de problemas y situaciones a mejorar.

La evaluación del nº estimado de personas expuestas se hace mediante los indicadores de población afectada, que permiten cuantificar el grado de exposición de un municipio. Además, puesto que la evaluación acústica debe ser periódica (cada 5 años), también permite analizar la evolución de un municipio o área en cuanto a contaminación acústica, cuando se han producido cambios en los focos de ruido ambiental.

La determinación de problemas y posibles mejoras simplemente consiste en hacer un análisis de cuál es el foco ambiental que más afecta a la población expuesta y qué se puede hacer para mitigar sus efectos. Por ejemplo, si ese foco es el tráfico urbano, antes de abordar cualquier actuación, mejorar la caracterización del tráfico urbano en cuanto a: intensidad media diaria, velocidad de circulación y porcentaje de pesados.

Determinar qué medidas se pueden aplicar para la reducción de ruido y proyectos en preparación

Se trata simplemente de describir las medidas que se están tomando para la mejora del ambiente sonoro una vez realizados los estudios oportunos (por ejemplo calculo de mapa de ruido y mapa en fachadas) y estimaciones de niveles de inmisión y población afectada. Por ejemplo, en el caso en el que la mayor afección es causada por el ruido de tráfico viario de carreteras próximas o urbanas, la colocación de pantallas y propuestas de movilidad sostenible podrían ser medidas aplicables.

Determinar las posibles actuaciones previstas para un plazo de cinco años

El plazo es de cinco años porque la ley así lo determina, plazo en el que se realizarán nuevas estimaciones y un nuevo plan de acción.

Los planes de acción en general tienen los siguientes cinco objetivos:

- Disponer las herramientas para llevar a cabo una gestión eficaz del ruido.
- Prevención de la contaminación acústica.
- Definir actuaciones prioritarias, mediante la jerarquización de planes zonales específicos.
- Potenciación de espacios públicos como zonas tranquilas
- Campañas de divulgación y concienciación (interna/externa).



Para el cumplimiento de estos objetivos es necesario realizar una serie de actuaciones que se desarrollan a continuación:

Acciones asociadas al cumplimiento del primer objetivo: Disponer de las herramientas para llevar a cabo una gestión eficaz del ruido

Se proponen en este apartado una serie de tareas y actuaciones a realizar por las autoridades competentes para que la gestión municipal de ruido se realice de manera organizada y apropiada. Por ejemplo, se puede proponer la organización de jornadas de formación sobre la normativa de ruido ambiental, con exposición de los resultados obtenidos en los estudios y la presentación de la estrategia para el plan de acción de mejora del ambiente sonoro.

Acciones asociadas al cumplimiento del segundo objetivo: Prevención de la contaminación acústica

Se trata de adelantarse a los acontecimientos mediante la detección de los conflictos antes de que se produzca, por lo tanto definir las actuaciones para a prevención. La prevención debe incorporarse a dos niveles. Por un lado, sobre zonas consolidadas en las que se cumplen los objetivos de calidad para que estos no se degraden. Por otro lado, la prevención en nuevos desarrollos donde se detecta conflicto acústico.

Para ello, se recomienda a las autoridades competentes la elaboración de un documento técnico que describa el estudio acústico que deberá evaluar la problemática actual y futura desde un punto de vista acústico, definiendo las medidas preventivas de reducción del impacto acústico que permitan cumplir con los OCAs que sean de aplicación.

Acciones asociadas al cumplimiento del cuarto objetivo: Potenciación de los espacios públicos como zonas tranquilas

Es en este punto es donde se puede incluir la herramienta de evaluación de la calidad acústica de un espacio urbano. De este modo, en un municipio que cuente con espacios públicos de gran calidad acústica y ambiental, se puede aprovechar la circunstancia y promocionar dichos espacios, mediante por ejemplo la creación de paseos/itinerarios peatonales tranquilos. En aquellos lugares donde la situación acústica no sea tan buena, la herramienta nos permite hacer propuestas de mejora y con ello la mejora de dichos espacios.

Mediante la herramienta además de obtener la percepción subjetiva y de este modo, conocer el concepto sonoro que los residentes tienen del espacio, se relaciona con los niveles y parámetros físicos adquiridos lo que nos ayuda a determinar las causas de la molestia y eliminarla, así como las causas de agrado para fomentarlas.

Para hacer un correcto estudio, se proponen las siguientes acciones:

1. Realización de la caracterización previa y la caracterización sonora de los espacios urbanos más característicos e importantes del municipio siendo estos diferentes entre sí. Por ejemplo un gran parque con mucha vegetación, una plaza céntrica con comercio y fuentes de agua y un parque de niños.
2. Determinar cual es la calidad acústica del lugar utilizando la herramienta definida y descrita en el apartado anterior para poder tomar como ejemplo de paisaje sonoro positivo un entorno o para definirlo como un entorno a mejorar.



3. Dependiendo de los resultados proponer mejoras en los espacios y crear un modelo para futuras edificaciones o planificaciones urbanas.

Con este tipo de acciones podemos conseguir dar cabida en el control de ruido a la importancia de la percepción que se tiene de él, de manera que nos ajustamos mejor a las necesidades reales de los habitantes proponiendo una planificación urbana orientada a los sentidos y no sólo a la vista, dado que el ruido ambiental es uno de los problemas más importantes a los que enfrentamos es de vital importancia la realización de dichos estudios para la preservación de los buenos ambientes sonoros y la mejora del resto.

Acciones asociadas al cumplimiento del tercer objetivo: definir actuaciones prioritarias, mediante la jerarquización de planes zonales específicos

El Plan correctivo debe desarrollar los planes zonales específicos, siendo el objetivo la mejora progresiva de la calidad acústica en zonas que actualmente se están superando los objetivos de calidad acústica.

La legislación establece que estas zonas deberán ser declaradas por la Autoridad competente como zonas de protección acústica especial, y además definir un **plan zonal específico** que incluya según el RD.1367/2007:

- Medidas correctoras
- Responsables de aplicación
- Presupuesto y financiación si es posible.

Por lo tanto, una vez identificadas las zonas de actuación prioritaria (utilizando los indicadores correspondientes) habría que definir las medidas correctoras que en estas zonas de protección acústica especial puedan reducir los niveles acústicos. Por ejemplo para un caso como el de ejemplos anteriores en los que la fuente de ruido predominante y causante de conflicto en una carretera próxima al municipio y el tráfico urbano, algunas de las valoraciones que se podrían hacer sería la evaluación de la eficacia de la colocación de una pantalla acústica, reducción de la velocidad de circulación en las calles del municipio o aislamiento acústico en los edificios más afectados.

Acciones asociadas al cumplimiento del quinto objetivo: Campañas de divulgación y concienciación

Para que cualquier plan de acción funcione es necesario que las personas implicadas estén informadas y conozcan los objetivos que se persiguen, así como las actuaciones a desarrollar y los responsables de éstas.

Por lo tanto parece indispensable que se desarrollen campañas de divulgación y concienciación tanto a nivel interno para los técnicos municipales como a nivel externo para la ciudadanía ya que al fin y al cabo son los agentes que permitirán en mayor medida modificar el perfil acústico del municipio.

Se definen en este apartado acciones para la formación interna de los técnicos así como para la concienciación ciudadana. Por ejemplo jornada de formación interna sobre normativas de ruido ambiental, interpretación de los mapas de ruido zonificación acústica y Objetivos de calidad relacionados, líneas generales de planes de acción...etc.



Estrategia a largo plazo

Una vez desarrollados los objetivos del plan de acción y las acciones previstas para el cumplimiento de cada uno se elaboraría un plan a más largo plazo que consistiría simplemente en integrar la gestión de ruido y crear una dinámica de trabajo en el municipio correspondiente como autoridad competente que es.

Está claro que la mejora del ambiente sonoro es un proceso a largo plazo que debe estar dentro de los planes del municipio y que además requiere de la participación tanto de los responsables del sistema como de los ciudadanos, sin olvidar la implicación de otras administraciones.

Por lo tanto el objetivo a largo plazo será reducir la afección acústica en el municipio, prestar especial hincapié en la labor preventiva, aumentar la superficie de zonas tranquilas y mantener actualizadas las herramientas para la gestión del ambiente sonoro en el municipio.



7- FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO



Tras la implementación y descripción de la herramienta para la evaluación acústica de un entorno sonoro urbano. Se propone la continuación de investigación en cuanto a metodologías así como la profundización en ciertos parámetros.

Por un lado, se propone la evaluación de la percepción subjetiva mediante análisis desde laboratorio. Se trataría de reunir a un grupo de unas 15 personas en una sala acondicionada acústicamente y realizar las mismas encuestas realizadas en el exterior, con alguna variación para dar correcta adecuación al análisis en laboratorio, para luego comparar esos resultados con los obtenidos en este estudio.

Por otro lado, se propone la investigación de los parámetros psicoacústicos (sonoridad) para la evaluación objetiva de la percepción, enfocando la investigación a la sustitución de las respuestas de percepción subjetivas por estos parámetros. Así, se simplificaría mucho el trabajo de campo y el posterior análisis de resultados.

Como aplicaciones y futuras utilidades de la herramienta ya diseñada, se propone una sencilla caracterización y evaluación acústica, de diferentes entornos de una misma ciudad o municipio, para promover la acústica positiva y tratar de mejorar el resto de espacios.



8- REFERENCIAS



- 1) **UNE 77-014-78** ‘Norma Española para el método de cálculo del nivel de sonoridad’
- 2) **ISO 532-1975** ‘Acoustics- Method for calculating Loudness Level’
- 3) Manual de usuario de SoundPLAN versión 6.5
- 4) “Bruit des infrastructures routières. méthode de calcul incluant les effets météorologiques. Version expérimentale. NMPB-Routes-96”. Ed Chapman & Hall 1995
- 5) Ministère des Transports; de L’Environnement et du Cadre de Vie. “Guide du bruit des transports terrestres. Prevision des niveaux sonores”. Ed. CETUR 1980
- 6) “Nord 2000. New Nordic Prediction Method for Road Traffic Noise”
- 7) **Ley 37/2003**.
LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. BOE nº 276. Martes 18 noviembre 2003. pp:40494-40505
- 8) **RD 1513/2005**
“REAL DECRETO 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental”. BOE nº 276. Sábado 17 diciembre 2005. pp: 41356 - 41363
- 9) **RD 1367/2007**
“REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas”. BOE nº 254. Martes 23 octubre 2007. pp:42952 – 42973
- 10) **ISO 9613-2**
“Acoustics —Attenuation of sound during propagation outdoors—Part 2: General method of calculation”. Primera edición 1996-12-15
- 11) **Training Manual Larson.Davis. 2900**. Manual de usuario del Analizador 2900
- 12) Manual de usuario del Pulse-LabShop. **PULSE-Getting Started, An introduction to Pulse de Brüel & Kjaer**.
- 13) Axelsson 2007
- 14) Gabrielsson and Sjögren 1979 y Namba et al 1991
- 15) Östen Axelsson, M.E. Nilsson and Birgitta Berglund, ‘*A principal components of soundscape perception*’
- 16) Rusell 1980; Rusell and Snodgrass 1987; Knez and Hygge 2001
- 17) **Swedish Soundscape-Quality Protocol**
- 18) **ISO/CD 15666** ‘Acoustics-assessment of noise annoyance by means of social and socio acoustic surveys’
- 19) Ö. Axelsson, M.E. Nilsson and B. Berglund, ‘A Swedish instrument for measuring soundscape quality’
- 20) Ö. Axelsson, M.E. Nilsson and B. Berglund, ‘*A principal Components Model of Holistic Soundscape Perception*’
- 21) M.E. Nilsson and M. Lindqvist, ‘*Perceived Sound Quality in Parks and Green Areas in Stockholm*’
- 22) AR-INTERIM-CM (CONTRACT: B4-3040/2001/329750/MAR/C1)
ADAPTATION AND REVISION OF THE INTERIM NOISE COMPUTATION METHODS FOR THE PURPOSE OF STRATEGIC NOISE MAPPING
WP 3.2.1: Railway Noise - Description of the calculation method)
- 23) Manual de usuario del analizador 2900B.
- 24) **Web oficial de Brüel & Kjaer** http://www.bksv.com/doc/bp1589_highres.pdf, **PRODUCT DATA**; PULSE Sound Quality Software- Type 7698
- 25) Nordtest method **NT ACOU 080**



26) *Página de la Universidad de Salford, Manchester,*

http://www.acoustics.salford.ac.uk/res/cox/sound_quality

27) *Loudness, It's definition, Measurement and Calculation.* Harvey Fletcher and W.A. Munson



9- ANEXOS



A.1: MAPAS DE RUIDO

MAPA1: Mapas de Ruido para los periodos día, tarde y noche

MAPA2: Mapa de inmisión de ruido en receptores



A.2 : ENCUESTA

Cuestionario para la evaluación de la calidad sonora:

Buenos días/tardes, estamos realizando un estudio con el objetivo de evaluar la calidad sonora del Parque De la Florida. Le rogamos su colaboración a fin de conseguir buenos resultados. Gracias.

Ciudad: **Lugar:**

Fecha: **Hora:**

INFORMACION PERSONAL

1. Sexo: M F

2. Edad:

3. Nivel de estudios:

4. Profesión:

CARACTERÍSTICAS DEL ENTORNO SONORO

5. Normalmente ¿Por qué motivo viene usted a este lugar y en qué momento del día suele venir?

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Pasar para ir a otro lugar
<input type="checkbox"/> Encontrarse con otras personas
<input type="checkbox"/> Caminar
<input type="checkbox"/> Leer un libro
<input type="checkbox"/> Descansar
<input type="checkbox"/> Hacer deporte
<input type="checkbox"/> Otros | <input type="checkbox"/> Mañana
<input type="checkbox"/> Mediodía
<input type="checkbox"/> Tarde
<input type="checkbox"/> Anochecer
<input type="checkbox"/> Noche
<input type="checkbox"/> Momento no especificado
<input type="checkbox"/> Otro |
|--|---|

6. De manera general, cuando viene a este lugar ¿Cómo describiría usted este entorno sonoro?

Muy bueno	Bueno	Ni bueno, ni malo	Malo	Muy malo
<input type="checkbox"/>				

7. A continuación, se presentan una serie de factores para caracterizar el entorno sonoro. ¿Podría usted mostrar en qué medida esta de acuerdo con los siguientes factores?

	Totalmente de acuerdo	Bastante de acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	Poco de acuerdo	Totalmente desacuerdo
Agradable	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Caótico	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Excitante,	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>



Monótono	<input type="checkbox"/>				
Calmado	<input type="checkbox"/>				
Molesto	<input type="checkbox"/>				
Variado	<input type="checkbox"/>				
Aburrido	<input type="checkbox"/>				

8. En este fragmento de tiempo, ¿En qué medida ha podido usted oír las siguientes fuentes sonoras?

	Nada	Poco	Algo	Mucho	Completamente Dominante
1.- Ruido de tráfico (Por ejemplo, coches, autobuses, trenes, aeronaves...)	<input type="checkbox"/>				
2.- Sonidos producidos por seres humanos (personas hablando, pisadas de la gente, niños jugando, risas...)	<input type="checkbox"/>				
3.- Sonidos naturales (canto de los pájaros, riachuelo, el movimiento de los árboles)	<input type="checkbox"/>				
4.- Otros sonidos (industria, sirenas, obras, música, maquinaria...)	<input type="checkbox"/>				

9. ¿Es el presente entorno sonoro tal y como usted lo esperaba? ¿Cumple sus expectativas?

Si
No

En caso de no cumplirlas, puede explicarnos ¿por qué?

10. De manera general, ¿Cómo describiría el entorno visual que le rodea?

Muy bueno Bueno Ni bueno, ni malo Malo Muy malo

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN(GRACIAS POR ESCUCHAR)