



UNIVERSITAT JAUME I

MASTER EN PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

***EVALUACIÓN DE LA CALIDAD ACÚSTICA DEL
JARDÍN DE LOS SENTIDOS Y DEL ÁGORA DE LA
UNIVERSITAT JAUME I: IMPLICACIONES
LABORALES Y MEDIO AMBIENTALES.***

TRABAJO FINAL DE MASTER

AUTOR

Jorge Juan Gómez Román

DIRECTOR

Vicente Esteve Cano

Castellón, Julio de 2015

ÍNDICE

1. Introducción.....	5
1.1. Efectos sobre la salud.....	7
1.2. Sobre el oído.....	7
1.3. Sobre otras partes del organismo.....	8
1.4. Efectos sobre el sueño.....	9
1.5. Efectos sobre la salud mental.....	9
1.6. Otros efectos patogénicos previsibles.....	11
2. Acústica.....	12
2.1. Física de las ondas sonoras.....	12
2.2. El decibelio y la escala logarítmica.....	13
2.3. Presión acústica (P) y nivel de presión acústica (LP).....	13
2.4. La percepción de los sonidos.....	14
2.5. Curvas de ponderación frecuencial. Ponderación A.....	15
2.6. Sonómetros integradores.....	16
2.7. Propagación del ruido.....	17
2.7.1. Atenuación Debida a la Atmósfera (A).....	18
3. Efectos del ruido sobre la salud.....	20
3.1. Efectos auditivos.....	20
3.2. Efectos no auditivos.....	23
4. Normativa aplicable.....	25
4.1. Normativa medioambiental.....	25
4.1.1. Normativa europea.....	26
4.1.2. Normativa española.....	26

4.1.3. Normativa autonómica valenciana.....	26
4.1.4. Normativa municipal.....	27
4.2. Normativa de prevención de riesgos laborales.....	29
4.2.1. Normativa europea.....	29
4.2.2. Normativa española.....	29
4.3. Valores límite nivel de presión acústica.....	30
5. Objeto y alcance del estudio.....	31
6. Zona de estudio.....	32
6.1. Emplazamiento.....	32
6.2. Zona de estudio.....	35
7. Metodología.....	37
7.1. Focos de ruido.....	37
7.1.1. Tráfico rodado.....	37
7.1.2. Ruido conversacional.....	38
7.1.3. Otras fuentes de ruido.....	38
7.2. Mediciones.....	38
7.3. Equipos de medida y de tratamiento de datos acústicos.....	39
7.3.1. Sonómetro.....	39
7.3.2. Calibrador-verificador acústico.....	40
7.3.3. Software de procesamiento de datos acústicos.....	41
7.4. Control de las condiciones de medida.....	42
7.4.1. Control de las condiciones ambientales.....	42
7.4.2. Minimización de reflexiones.....	43
7.5. Método operativo de la realización de las mediciones.....	43
8. Representación gráfica de los niveles de presión acústica.....	46
8.1. Curvas de Presión Acústica.....	46

8.2. Código de Colores.....	49
9. Resultados.....	50
9.1. Tipos de Resultados.....	50
9.2. Niveles acústicos equivalentes.....	51
9.2.1. Mediciones realizadas el 4 de junio del de 2015.....	51
9.2.2. Mediciones realizadas el 10 de abril de 2013 y 4 de junio de 2015 - Periodo mañana....	52
9.2.3. Mediciones realizadas el 10 de abril de 2013 y 4 de junio de 2015 - Periodo tarde.....	53
9.3. Niveles acústicos en banda de $\frac{1}{3}$ de octava.....	54
10. Conclusiones.....	65
10.1. Niveles de presión acústicas obtenidos.....	65
10.1.1. Repercusión Laboral.....	65
10.1.2. Repercusión Medio Ambiental.....	65
10.1.3. Puntos Singulares.....	65
10.2. Variación de los niveles de presión acústica entre medidas de 2013 y 2015.....	66
10.3. Análisis de $\frac{1}{3}$ de banda de octava.....	67
10.4. Propuesta de medidas correctoras.....	67
10.4.1. Medida correctora para el ruido de rodadura.....	68
10.4.2. Medida correctora para el ruido de motores.....	68
11. Bibliografía.....	69
11.1. Bibliografía.....	69
11.2. Recursos web.....	70
12. Planos.....	72

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo económico e industrial ha venido acompañado de un alarmante aumento del ruido, sobretodo en las ciudades. Este aumento del ruido, llamado contaminación acústica, incide negativamente en la calidad de vida y en la salud de las personas que están sometidas a unos niveles sonoros excesivos. Los niveles de ruido ha crecido de forma desproporcionada en las últimas décadas y sólo en España se calcula que al menos 9 millones de personas soportan niveles medios de 65 decibelios (dB) .

Se estima que casi 150 millones de personas se encuentran con nivel sonoro superior a 65 dB, el límite aceptado por la O.M.S. y otros 300 millones residen en zonas de incomodidad acústica, es decir entre 55 y 65 dB. Por debajo de 45 dB no se perciben molestias. Con sonidos de 55 dB, un 10% de la población se ve afectada y con 85 dB todos los seres humanos se sienten alterados. Las principales fuentes de contaminación acústica en la sociedad actual provienen de los vehículos de motor, que se calculan en casi un 80%; el 10% corresponde a las industrias; el 6% a ferrocarriles y el 4% a bares, locales públicos, pubs, talleres industriales, etcétera.

Por el momento estamos ante un problema creciente, pero la sociedad cada vez es más consciente de que está ante un problema que atenta contra su salud y en los últimos años se empieza a realizar un esfuerzo por parte de las instituciones en lo referente al ruido ambiental. Tanto es así, que podríamos decir que nos encontramos ante un nuevo marco legislativo, en el que se reconoce

unánimemente que el ruido ambiental es un problema grave que afecta a la calidad de vida e incluso a la salud de un gran número de personas.

Aunque la preocupación de las instituciones administrativas por la contaminación no es nueva, la asignatura pendiente en este campo ha sido, y quizás aún siga siendo, la falta de uniformidad en cuanto a los métodos de evaluación y a las estrategias de lucha contra el ruido. Para solventar este problema la Comisión de las Comunidades Europeas promulgó, en 1996, su Libro Verde sobre política futura de lucha contra el ruido. Al amparo de éste, la Comisión ha publicado una propuesta de Directiva con el objeto de crear un marco común para solventar el problema del ruido en la Unión Europea. Dicha propuesta de Directiva ha finalizado hace poco sus trámites parlamentarios, por lo que deberá ser de obligado cumplimiento en los Estados miembros.

Paralelamente, las diferentes entidades autonómicas españolas han propugnado reglamentaciones que pretenden regular los aspectos de la lucha contra el ruido, con desigual fortuna en cuanto a la convergencia de criterios con los establecidos por las autoridades europeas.

En la Directiva europea, así como en algunas de las reglamentaciones autonómicas, se reconoce el papel de los “mapas de ruido” como principales herramientas en la evaluación y prevención del ruido ambiental. Tal es así, que en la Directiva se establece que a 1 de enero de 2005 estén realizados y publicados los mapas de ruido de todas las grandes aglomeraciones europeas, así como de los principales ejes viarios y ferroviarios, y de los grandes aeropuertos. En una segunda fase cuyo límite se encuentra en el 1 de enero del 2010, deberán estar dispuestos los resultados de los mapas de ruido de las aglomeraciones con un número de habitantes entre 100.000 y 250.000. Todos los mapas de ruido se deberán renovar cada cinco años a partir de la fecha de su aprobación.

Por esto la realización de mapas de ruido va a ser, en los próximos años, una tarea predominante para los departamentos de medio ambiente de un buen número de municipios españoles.

1.1. EFECTOS SOBRE LA SALUD.

La nocividad o conjunto de efectos patógenos que el ruido puede producir sobre el organismo humano es aún objeto de estudio y controversia entre los expertos. Todos los autores coinciden en que niveles demasiado elevados de ruido perjudican al aparato auditivo de los humanos. El grado de acuerdo es bastante menor cuando se trata de medir las consecuencias fisiológicas, psicológicas y psicosociales que el ruido es susceptible de producir. Esta falta de acuerdo se debe probablemente a dos causas. De una parte a que el ruido en cuanto contaminante aún no ha sido suficientemente estudiado en todos sus aspectos. Y por otra parte, al carácter subjetivo de la percepción de los ruidos, que hace variar mucho de unas personas a otras el grado de molestia.

Unas personas tienen más capacidad que otras de adaptarse según a qué clases de ruido.

A pesar de esto, cabe sistematizar algunos de los efectos más negativos que el ruido puede producir en el organismo humano.

1.2. SOBRE EL OÍDO

La repercusión más obvia de los ruidos se ejerce sobre el aparato auditivo. Sus efectos nocivos tienden a generar una disminución de la capacidad de audición o hipoacusia. A veces esta “hipoacusia inducida por ruidos” se convierte en crónica, y entonces se llama sordera profesional. Cuando este déficit auditivo dificulta seguir una conversación normal, entonces recibe el nombre de “sordera social”.

Las legislaciones laborales de los países desarrollados suelen establecer normas para limitar los niveles de ruidos permisibles en el trabajo. Así, la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo establece para España que, “a partir de 80 decibelios, y siempre que no se logre la disminución del nivel sonoro por otros procedimientos, se emplearán obligatoriamente dispositivos de protección personales tales como tapones, cascos, etc.; y que a partir de 110 decibelios se extremará tal protección para evitar totalmente las sensaciones dolorosas o graves”.

Sin embargo, hay autores solventes que cifran en 75 decibelios el umbral máximo de ruidos superado el cual la exposición celular auditiva es ya grave, y que la legislación laboral debe ser revisada de forma que tenga esto en cuenta.

1.3. SOBRE OTRAS PARTES DEL ORGANISMO

Otros procesos fisiológicos distintos de la audición pueden asimismo ser alterados por el ruido. De ahí que hoy se le considere como un nuevo factor desencadenante de ese estado psicofísico que llamamos “estrés”.

Se considera generalmente que en los individuos sometidos a presiones sonoras superiores a los 90 decibelios, se provoca un aumento de la frecuencia respiratoria que puede llegar a producir disnea y hasta polipnea.

Ante ruidos intensos, sobre todo si son inesperados, puede originarse una aceleración del ritmo cardíaco, elevación de la presión arterial y vasoconstricción periférica. Sobre todo si los sujetos expuestos a ese tipo de ruidos sufren afecciones como hipertensión arterial, artritis o angina de pecho.

También se han estudiado los efectos del ruido sobre el aparato digestivo. Se señala que puede ejercer un efecto inhibitorio, disminuyendo la secreción salivar; así como provocar náuseas, vómitos, pérdida de apetito, y hasta úlceras gastroduodenales.

Se señala que el estrés producido por el ruido puede alterar también el funcionamiento de las glándulas suprarrenales.

Han sido estudiados también los efectos negativos sobre el Órgano del Equilibrio, como causa de vértigos, pérdidas de equilibrio y demás.

Otros efectos negativos estudiados se refieren a aumentos de tensión de los músculos, incrementos de la sensibilidad cutánea, alteraciones en la visión de los colores, en la dilatación de las pupilas, etc.

1.4. EFECTOS SOBRE EL SUEÑO

Se han estudiado tanto los efectos positivos como los negativos que el ruido puede ejercer respecto del sueño. Entre los positivos se señala sobre todo la función de alarma, como el peligro del que avisan los gritos de las personas o un fuerte viento, o el servicio que nos presta un despertador.

Como efectos negativos, el ruido ambiental tiene la perturbación que ejerce sobre el sueño en general, dificultando conciliar el sueño, alterando la calidad y profundidad del mismo, despertando a los que duermen. En general tiende a perturbar o rompe la alternativa rítmica necesaria en la vida normal de las personas, entre el gasto de energía que supone el trabajo y la recuperación de la energía que proporciona el reposo.

Se considera que un ruido equivalente a unos 35 decibelios o más puede ya constituir un serio perturbador del sueño. Tanto para llegar a conciliar el sueño como para impedir una calidad adecuada del mismo, aunque la persona durmiente no llegue a despertarse. Aunque por supuesto esto varía bastante de unas personas a otras, y también del diverso grado de profundidad en que el sueño se encuentre en el momento de producirse el ruido. Personas más sensibles pueden despertarse con unos 30 decibelios, y otras más resistentes aguantar hasta 70 decibelios. En cualquier caso cabe recordar que, por ejemplo, el paso de un camión pesado puede causar un ruido de unos 55 decibelios (susceptible de despertar a la mayor parte de las personas) en un dormitorio próximo a la carretera.

También hay personas mucho más capaces que otras de adaptarse a los ruidos. Así, entre personas de una misma familia que vive al lado de una estación de ferrocarril, o en el mismo edificio en cuyo bajo funciona la imprenta de un periódico (o una discoteca), alguna de esas personas se adapta mejor a dormir que el resto de la familia.

1.5. EFECTOS SOBRE LA SALUD MENTAL

Además de los efectos de orden físico o fisiológico ya mencionados, los investigadores y expertos señalan otros efectos nocivos más directamente psíquicos de los ruidos. Es obvio que las molestias de este tipo tienen mucho que ver con la subjetividad de cada persona. Y si algo de verdad tiene el dicho aquel de que “cada persona es un mundo”, no cabe duda de que esta parte de verdad será

aplicable sobre todo al más plural y complejo mundo de la subjetividad. Es en la subjetividad de los individuos donde lo que para unas personas resulta un sonido agradable, excitante o simplemente tolerable, para otras se transforma en ruido molesto, intolerable o susceptible de destrozarle los nervios. Entre los individuos se da una enorme variedad. Lo que en último término determina que un sonido se convierta en ruido es la reacción psicológica de la persona que lo percibe. Cuando el sujeto percibe el sonido como agresión (ruido), es entonces que moviliza frente a él sus medios de adaptación y defensa.

Ante la imposibilidad de medir los efectos del ruido en todos y cada uno de los individuos, se estudia como efecto comunitario. Y para eso se recurre a las encuestas de opinión.

Esta forma de medirlo se traduce, más que en decibelios, en el número o porcentaje de personas a las que les afecta.

Los mapas del ruido ambiental de las ciudades se constituyen pues, tomando como base dos tipos de datos. De una parte por la medición directa de ruidos contabilizada en decibelios (tal y como lo hemos realizado en nuestro trabajo); y de otra parte, por las encuestas de opinión sobre las personas a las que afecta.

Entre las características físicas del propio ruido hay que tener en cuenta factores como la fuente que lo produce, (tráfico rodado, industria, aviones), la intensidad, la frecuencia, la intermitencia o la irregularidad (que dificulta la adaptación de las personas a él), etc. Y entre las características de los individuos que han de soportarlo se tienen en cuenta datos como el estado de ánimo, la sensibilidad (que el individuo sea hipersensible o singularmente tranquilo), la personalidad o basamento temperamental (introvertido o extrovertido), la edad.

La combinación entre las características físicas del ruido y el grado de molestia acusado por las personas es, pues, lo que nos permite cuantificar su impacto contaminante sobre el medio ambiental y la salud.

Volviendo al tema de este apartado -efectos del ruido sobre la salud mental de las personas- parece comprobado que la exposición de las personas a los ruidos acelera e intensifica el desarrollo de un

estado patológico latente en este sentido. Se acusan aumentos de los casos de neurosis, depresiones, ansiedades, actitudes de hostilidad, etc.

1.6. OTROS EFECTOS PATOGENICOS PREVISIBLES

En todo caso, parece evidente que sólo a más largo plazo podrán ir detectándose todos los efectos patógenos que los ruidos pueden producir en quienes están habitualmente expuestos a ellos. Sobre todo los que pueden afectar a las generaciones jóvenes, hoy aparentemente mejor habituadas a los ruidos producidos en las salas de fiestas, discotecas y otros centros de recreo.

Al tratarse de experiencias nuevas, propias de la nueva civilización del ocio, es difícil aún conjeturar toda su variedad de efectos. Sin embargo, es lícito preguntarse y tratar de prever a tiempo qué consecuencias tendrá a medio y largo plazo para la salud física y mental de estos jóvenes, así como para su capacidad de comunicación.

Hace poco comenzó a hablarse en la prensa de la enfermedad llamada “tinitus” (zumbidos). Las personas que la sufren tienen la sensación de estar expuestas de forma permanente a ruidos desconocidos, como los de un motor en permanente funcionamiento; otros los asocian con silbatos o con el ruido del mar.

Algunos calculan que hasta dos millones de personas en toda España serían hoy víctimas de esta enfermedad. La mayoría de los especialistas la atribuyen todavía a origen desconocido, por lo que no se atreven a diagnosticarla y tratarla con seguridad. No obstante, no pocos expertos señalan ya que el tinitus es sufrido sobre todo por personas expuestas a ruidos excesivamente fuertes como los producidos por sierras mecánicas, conciertos de rock, disparos, cohetería...

2. ACÚSTICA

2.1. FÍSICA DE LAS ONDAS SONORAS

Un sonido es un fenómeno físico que consiste en la alteración mecánica de las partículas de un medio elástico, producida por un elemento en vibración, que es capaz de provocar una sensación auditiva. Las vibraciones se transmiten en el medio, en forma de ondas sonoras, se introducen por el pabellón del oído haciendo vibrar la membrana del tímpano, de ahí pasa al oído medio, oído interno y excita las terminales del nervio acústico que transporta al cerebro los impulsos neuronales que finalmente generan la sensación sonora. En el aire se propaga por la vibración de las moléculas de aire situadas en la proximidad del elemento vibrante, que a su vez transmiten el movimiento a las moléculas vecinas, y así sucesivamente. La vibración de las moléculas de aire provoca una variación de la presión atmosférica, el paso de una onda sonora produce una onda de presión que se propaga por el aire, estas variaciones bruscas son percibidas por el oído humano, creando la sensación auditiva. Las ondas sonoras se atenúan con la distancia y pueden ser absorbidas o reflejadas por los obstáculos que encuentran a su paso, tal y como se comentará posteriormente

2.2. EL DECIBELIO Y LA ESCALA LOGARÍTMICA

El decibelio (dB) es una unidad general de medida del nivel de sonido, que expresa la relación logarítmica entre una magnitud acústica medida (X) y otro valor de esa misma magnitud que se toma como referencia (X₀). El nivel (Level = L), tiene la siguiente forma matemática:

$$L = 10 \log \frac{X}{X_0}$$

El decibelio (dB) no es por lo tanto una unidad de medida absoluta, sino variable, es 10 veces la relación logarítmica entre una cantidad dada, y otra que se toma como referencia. El nivel de ruido en una zona determinada aumenta a medida que se incrementa el número de fuentes productoras de ruido.

Debido a que la escala de decibelios crece de forma logarítmica, no es posible sumar aritméticamente los distintos niveles de ruido, cuestión matemática que tendrá que tenerse en cuenta a la hora de realizar sumas o restas de niveles acústicos.

2.3. PRESIÓN ACÚSTICA (P) Y NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA (LP)

La presión acústica o presión sonora (P) es la diferencia entre la presión total instantánea en un punto, cuando existe una onda sonora, y la presión estática en ese mismo punto cuando no hay sonido. Dicho de otro modo, es la diferencia en un instante dado entre la presión instantánea y la atmosférica en un punto, consecuencia de la propagación a través del aire de una onda sonora.

Las presiones acústicas a las cuales es sensible el oído humano varían en un gran intervalo, mientras que el umbral inferior de la audición humana, es decir, la presión -5 acústica mínima que provoca una sensación auditiva, es $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, y el umbral máximo es de alrededor de 20 Pa, siendo esta última la presión acústica máxima que el oído humano puede soportar sin que se produzca dolor y daños.

El oído humano es capaz de percibir y soportar sonidos correspondientes a niveles de presión sonora entre 0 y 120 dB. Este último nivel de ruido marca aproximadamente el umbral del dolor, a

niveles de ruido superiores pueden producirse daños físicos como rotura del tímpano. Mientras que el rango de frecuencias audibles oscila desde los 20 Hz a los 20 kHz. A efectos prácticos de cálculo, como la presión acústica tiene un margen muy amplio de variación, y el comportamiento del oído humano está más cerca de una función logarítmica que de una lineal, en la práctica se utiliza una escala logarítmica, siendo su unidad el decibelio, de esta forma se define el Nivel de Presión Acústica (LP) mediante la siguiente relación:

$$L = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2} = 20 \log \frac{P}{P_0}$$

Siendo:

- L_p = nivel de presión acústica en decibelios (dB)
- P = presión acústica medida o presión efectiva o eficaz
- P_0 = presión acústica de referencia = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

La presión de referencia, se corresponde con la menor presión acústica audible, que puede detectar un oído joven y sano a una frecuencia de 1.000 Hz, a esta escala logarítmica le atribuye el valor de 0 dB.

2.4. LA PERCEPCIÓN DE LOS SONIDOS

La percepción subjetiva del sonido depende de múltiples factores. Así por ejemplo, la intensidad distingue entre sonidos altos y bajos y está relacionada con la intensidad acústica o con la presión acústica eficaz, y el tono, diferencia los sonidos agudos de los graves y está relacionado con la frecuencia del sonido (cuanto más agudo es un sonido mayor es su frecuencia). Otros factores pueden ser el timbre, el ritmo, etc.

Aparecen, así, dos conceptos esencialmente distintos aunque íntimamente relacionados, por un lado, la onda sonora o ente físico capaz de producir la sensación de sonido, y por el otro, la sonoridad o sensación subjetiva producida por ciertas variaciones de presión en el oído.

En general, los sonidos están formados por ondas complejas que son el resultado de la suma de componentes de distinta frecuencia; armónicos, dependiendo su sonoridad de las contribuciones relativas de cada componente, es decir de las frecuencias presentes y de las intensidades correspondientes. Físicamente, se representan mediante su espectro de frecuencia, y su base matemática se describe mediante los desarrollos de Fourier.

La sonoridad es una característica subjetiva. Estudios realizados sobre un gran número de oyentes ha permitido tabular un conjunto de curvas de igual sonoridad (curvas isofónicas) que indican, para cada nivel de sonoridad, el nivel sonoro de los distintos tonos puros que producen la misma sensación sonora (se comprueba que la corrección de nivel entre dos frecuencias distintas para que ofrezcan la misma sonoridad depende del valor de presión sonora).

2.5. CURVAS DE PONDERACIÓN FRECUENCIAL. PONDERACIÓN A

La percepción del sonido por el oído humano es compleja, pues depende del nivel de presión acústica así como de la frecuencia del sonido, el oído humano no es sensible de la misma manera a las diferentes frecuencias.

Dos ruidos pueden tener un nivel de presión acústica similar y presentar una distribución de frecuencias diferente, siendo tanto más molesto e irritante un ruido cuanto mayor sea su proporción componente en altas frecuencias.

Basándose en las curvas de isosonoridad del oído humano se han diseñado una serie de filtros con objeto de ponderar la señal recogida por el micrófono adecuándola a la sensibilidad del oído humano, atenuando sobre todo las frecuencias bajas, para poder reflejar un nivel sonoro representativo de la sensación de ruido realmente recibida.

Estos filtros de ponderación corrigen los niveles de presión en función de la frecuencia según unas curvas de ponderación. Existen diversos tipos de filtros, tipo A, B, C. El filtro utilizado en el dominio del ruido ambiental y de exposición humana es el tipo A.

Por ello la medida del ruido se realiza con un equipo que adapte la medición a conforme lo percibe el oído humano, que pondere el nivel de presión acústica (L_p) en función de la frecuencia, dotado

de un filtro de medición tipo A, que pondera y adapta en función de la frecuencia a la sensación que percibiría el oído humano, expresándose en decibelios A, (dBA), el nivel de presión acústica ponderado A (LpA)

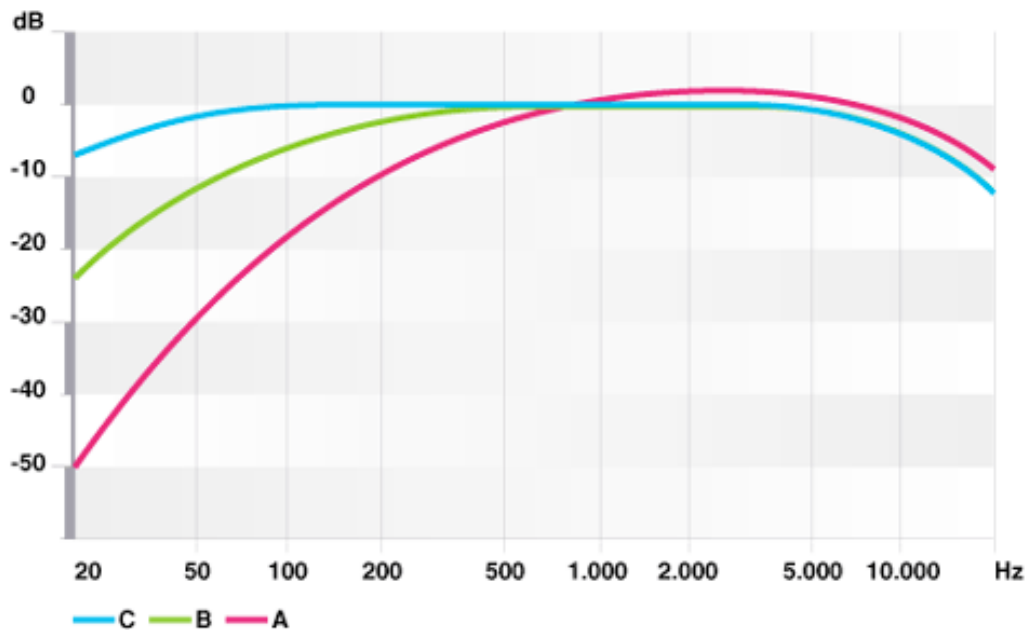


Figura 1: Curvas de ponderación A, B y C

2.6. SONOMÉTROS INTEGRADORES

Para detectar con precisión los componentes aleatorios de un sonido en el tiempo, se utilizan sonómetros integradores, capaces de medir y calcular automáticamente, el nivel continuo equivalente LpAeqT.

Los sonómetros integradores son de dos clases. En unos el nivel continuo equivalente es calculado constantemente y la pantalla presenta el LpA_{eq,T} verdadero desde el inicio de la medición.

A medida que pasa el tiempo el valor se estabiliza, con lo que puede tomarse como representativo de un período mayor, sin necesidad de prolongar la medición. En otros, la energía se acumula

durante períodos de tiempo fijos, por ejemplo un minuto, facilitando el valor correcto una vez transcurrido dicho tiempo.

2.7. PROPAGACIÓN DEL RUIDO

La cantidad de ruido que percibimos depende en gran medida de lo cerca o lejos que nos encontremos de la fuente de emisión, así como si nos encontramos delante o detrás de algún tipo de barrera que pueda reducir el nivel de presión sonora que debería llegarnos si ésta no estuviera. El estudio de la propagación del sonido, es un proceso complejo que depende de varios factores que afectan al nivel de ruido percibido, pudiendo variar los resultados de las medidas realizadas para una misma fuente emisora. Para tener en cuenta estas posibles variaciones, se han de considerar los siguientes factores:

- Cómo se emite el ruido desde la fuente.
- Cómo viaja a través del aire.
- Cómo llega al receptor.

Los factores más importantes que afectan a la propagación del ruido son:

- Tipo de fuente (lineal o puntual)
- Distancia desde la fuente.
- Absorción atmosférica.
- Temperatura.
- Humedad.
- Viento.
- Presión atmosférica.
- Absorción del terreno.

- Reflexiones.
- La divergencia de las ondas sonoras.
- La atenuación causada por obstáculos naturales y/o artificiales
- (edificios, barreras, arbolado...).

No obstante, a efectos del estudio que nos atañe, en el que se pretende evaluar la calidad ambiental, en cuanto a ruido se refiere, de las zonas del Ágora y del Jardín de los Sentidos de la UJI, algunos de los aspectos anteriores, tales como tipo y distancia de las fuentes, absorción del terreno, reflexiones y las posibles atenuaciones debidas a obstáculos, no son relevantes, pues son elementos “fijos” del emplazamiento a evaluar, de modo que no varían con el tiempo, provocando siempre en igual sentido la posible variación en el ruido propagado, y por ende recibido en el sonómetro.

De otro lado, las variables climáticas, que influyen en la transmisión del ruido, sí pueden provocar más variabilidad en su propagación y afectar a los valores registrados en la medición, es por ello, que son a este tipo de factores los que habrá que controlar de forma que el resultado obtenido sea representativo, tanto en la medida como en los cálculos que se realicen posteriormente. Puesto que variables como la temperatura, entre otras, influyen en la densidad del aire, y como el sonido se trata de ondas elásticas, su velocidad de propagación (c) será función de éstas, ($c = f(\text{densidad})$).

No obstante, las distintas reglamentaciones y las especificaciones técnicas de los equipos de medida especificarán las condiciones para cada variable.

2.7.1. Atenuación Debida a la Atmósfera (A)

Conforme el sonido se propaga por el aire, la energía se va disipando en forma de calor. La reducción de ruido al pasar a través del aire depende de los siguientes factores:

- Contenido frecuencial del sonido.
- Temperatura ambiental.
- Humedad relativa.

- Presión atmosférica.
- Viento.

3. EFECTOS DEL RUIDO SOBRE LA SALUD

Los efectos que el ruido produce en la salud pueden dividirse en dos grandes grupos:

- Efectos auditivos
- Efectos no auditivos.

3.1. EFECTOS AUDITIVOS

El principal efecto auditivo, es sin duda, la pérdida de la capacidad auditiva. Un ruido súbito e intenso, como el de un disparo o una explosión, puede provocar una disminución de la capacidad auditiva e incluso la rotura del tímpano.

El ruido lesiona las células pilosas (terminaciones nerviosas de la cóclea o caracol), por lo que produce un deterioro lento y progresivo de la capacidad auditiva. Al principio el daño afecta a pocas células, por lo que no es apreciable, pero cuantas más células existen dañadas, más problemas encuentra el cerebro para recibir e interpretar el sonido (en esta situación es cuando por ejemplo, unas palabras pueden confundirse con otras). Poco a poco se adquiere dificultad para oír efectos ordinarios como el timbre de la puerta, el teléfono, etc. (en este punto, es cuando, por ejemplo, se

sube el volumen de la tele, de manera que molesta a los demás, pero nosotros no oímos). En el momento en que el individuo es consciente que sufre una pérdida auditiva, generalmente el daño ya es irreparable.

La pérdida de audición por exposición al ruido es más acusada en las frecuencias para las que el oído es más sensible (alrededor de 4000Hz).

Lo que ocurre en una sordera, es que tras una carga sonora el oído ensordece momentáneamente (desplazando temporalmente el umbral de audición), lo que denominamos coloquialmente “tener los oídos taponados”. Este síntoma desaparece al cabo de cierto tiempo (horas o semanas) si el individuo permanece en ambientes ruidosos normales.

Si la exposición al ruido elevado es frecuente, el oído no tiene tiempo de recuperarse y se produce un daño irreversible en las células pilosas, que conlleva al desplazamiento permanente del umbral auditivo, lo que recibe el nombre de hipoacusia. Veamos sus características:

- Las células que sufren el daño primero, son las encargadas de codificar los sonidos agudos, es decir, alrededor de los 4.000Hz, extendiéndose progresivamente la lesión al resto de frecuencias.
- Irrecuperable, bilateral y simétrica, es decir, afecta a los dos oídos por igual y no es posible recuperar la audición perdida.
- Cuando la exposición al ruido cesa, la hipoacusia no progresa. Para medir la capacidad auditiva de un individuo, se utiliza un aparato llamado audiómetro, que proporciona un gráfico denominado audiometría, en que se puede observar la respuesta del individuo ante la emisión de diferentes sonidos a frecuencias distintas (desde las graves hasta las agudas).

Las fases que tiene la pérdida de la audición en un individuo, hasta llegar a la pérdida permanente de la audición, o hipoacusia son las siguientes.

- Enmascaramiento de la audición, y dificultad de la misma.

- Fatiga auditiva: Descenso transitorio de la capacidad auditiva. No hay lesión, se recupera con el descanso sonoro, dependiendo de la intensidad y de la duración.
- Hipoacusia permanente: Exposición a ruido elevada, en intensidad y en tiempo, o una fatiga prolongada que no permite la recuperación. Comienza en el rango 4000 - 6000 Hz (como no son frecuencias conversacionales no interfiere en la vida social del sujeto). Si la exposición continua, la pérdida auditiva alcanza frecuencias más elevadas, luego más bajas e incluso conversacionales.

La pérdida de audición por una exposición prolongada del ruido depende de varios factores:

- Nivel de presión de ruido
- Características del ruido (frecuencia, intensidad, etc)
- Tipo de ruido (continuos, discontinuos, de impacto)
- Tiempo de exposición
- Susceptibilidad individual
- Edad

Pero también hay que tener en cuenta otros factores que influyen en la pérdida de la audición, como son:

- Exposición a agentes ototóxicos
- Endurecimiento del oído interno (otosclerosis)
- Procesos degenerativos
- Envejecimiento prematuro del oído

- Infecciones Disposiciones hereditarias
- Efectos secundarios de medicación
- Haber sufrido traumatismos craneales

3.2. EFECTOS NO AUDITIVOS

El oído, como sistema de alerta, está relacionado con otros órganos y sistemas del cuerpo humano, y puede ocasionar efectos adversos sobre ellos. Como efectos no auditivos, se entiende el resto de efectos ocasionados por la exposición al ruido, diferentes a la pérdida de audición. Estos efectos se pueden agrupar en:

- Trastornos de voz (disfonía): algunos autores afirman que el ruido ambiental superior a 66dB(A) requiere un esfuerzo potencialmente peligroso para las cuerdas vocales.
- Sistema nervioso central: efectos sobre la circulación cerebral, trastornos electroencefálicos y disminución de la respuesta psicomotriz
- Sistema cardiovascular: alteraciones del ritmo cardíaco, aumento de la presión arterial y riesgo coronario
- Glándulas endocrinas: alteraciones hipofisarias, suprarrenales e hiperglucemia moderada
- Sistema respiratorio: aumento de la frecuencia respiratoria
- Aparato digestivo: incremento de la secreción ácida del estómago
- Efectos psíquicos: actúan principalmente sobre:
 - Estado de ánimo: aumento de ansiedad

- Efectividad: reducción del rendimiento, disminución de la capacidad de concentración, disminución de la eficacia, aumento de accidentes, etc
- Alteraciones psicológicas: irritabilidad, astenia, alteraciones del carácter y agresividad, etc
- Estrés
- Etc

Además, todos los trastornos que disminuyen la capacidad de alerta del individuo pueden ser causa de accidentes, ya que dificultan la comunicación, impiden percibir señales y avisos de peligro, etc

De acuerdo a los artículos, 25,26 y 27 de la Ley de prevención, especial hincapié en los casos:

- Menores de edad (16-18 años): Misma consideración que es resto de población trabajadora a excepción de la formación e información.
- Mujeres embarazadas: No exponer a las embarazadas de más de 22 semanas de gestación a niveles diarios equivalentes superiores a 80 dB(A).

4. NORMATIVA APLICABLE

4.1. NORMATIVA MEDIOAMBIENTAL

Las normativas y reglamentaciones en temas ambientales, siendo la contaminación por ruido una rama de ellas, tienen su origen en Directrices europeas que se plasman en Directivas y Reglamentos. Los Estados Miembros, tiene la obligación de trasponer en un tiempo dado, las correspondientes disposiciones europeas.

A su vez, en el caso del estado español, las competencias en materia de medio ambiente, están transferidas a las respectivas Comunidades Autónomas, correspondiendo al gobierno, legislar la normativa de carácter básico y, de otro lado, estando a la voluntad de las mencionadas comunidades autónomas, la posibilidad de complementar, sin detrimento de las directrices de carácter “básico” la normativa estatal. Quedando en última instancia la potestad de legislar en materia de ruido, mediante la elaboración y aplicación de las correspondientes Ordenanzas Municipales, a los Ayuntamientos de los distintos municipios españoles.

De esta forma, se puede resumir la normativa en lo referente a contaminación acústica, en estos cuatro niveles de actuación:

4.1.1. Normativa europea

- Directiva 2002/49/CE, de 25 de junio, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental

4.1.2. Normativa española

- Ley 37/2003, de 17 de noviembre del Ruido.
- 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.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, que desarrolla la Ley 37/2007, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas.
- Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB HR Protección frente al Ruido” del Código Técnico de la Edificación.

De esta forma, se puede resumir la normativa en lo referente a contaminación acústica, en estos cuatro niveles de actuación:

4.1.3. Normativa autonómica valenciana

- Ley 7/2002, de 3 de diciembre de Protección contra la Contaminación Acústica.
- Decreto 266/2004 de 3 de diciembre, del Consell de la Generalidad, por el que se establecen normas de prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios.
- Decreto 19/2004, de 13 de febrero, del Consell, de la Generalitat, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor, modificado por el Decreto 43/2008 de 11 de abril.

- Decreto 104/2006, de 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica; modificado por el Decreto 43/2008 de 11 de abril.
- Decreto 43/2008, de 11 de abril, del Consell, por el que se modifica el Decreto 19/2004, de 13 de febrero, del Consell, por el que se establecen normas para el control del ruido producido por los vehículos a motor, y el Decreto 104/2006, de 14 de julio, del Consell, de planificación y gestión en materia de contaminación acústica.

4.1.4. Normativa municipal.

- Plan Acústico Municipal de Castellón de la Plana, aprobado el 22 de diciembre de 2008.
- Ordenanza Municipal de Protección contra la Contaminación Acústica del municipio de Castellón de la Plana, aprobada el 28 de octubre de 2010

La planificación acústica y gestión acústica a nivel municipal se concreta en las ordenanzas y en los Planes Acústicos, los cuales tienen por objeto la identificación de las áreas acústicas existentes en el municipio, en función del uso que sobre las mismas exista o esté previsto y sus condiciones acústicas, así como la adopción de medidas que permitan la progresiva reducción de sus niveles sonoros para situarlos por debajo de los previstos en la Ley 7/2002.

Valores límite de ruido en el medio ambiente exterior según la mencionada Ley 7/2002:

Tabla 1: Valores límite de ruido en el medio ambiente

USO DEL SUELO DOMINANTE	NIVEL DE RUIDO MÁXIMO PERMITIDO Leq dB (A)	
	DÍA (8h-22h)	NOCHE (22h-8h)
Sanitario y docente	45	35
Residencial	55	45
Terciario	65	55
Industrial	70	60

Siendo un elemento importantes en materia de actuación acústica y ordenamiento del territorio y de las actividades a desarrollar en él, los Planes de Acción Local

El Real Decreto 1513/2005, que desarrolla la Ley 37/2003 del Ruido, en lo referente a evaluación y gestión del ruido ambiental, recoge los requisitos mínimos que deben cumplir los Planes de Acción contra el ruido. Deben incluir la siguiente información:

- Descripción de la aglomeración, los principales ejes viarios, los principales ejes ferroviarios o principales aeropuertos y otras fuentes de ruido consideradas.
- Autoridad responsable.
- Contexto jurídico. Valores límite establecidos con arreglo al artículo 5.4 de la Directiva 2002/49/CE.

- Resumen de los resultados de la labor de cartografiado del ruido. Evaluación del número estimado de personas expuestas al ruido, determinación de los problemas y las situaciones que deben mejorar.
- Relación de las alegaciones u observaciones recibidas en el trámite de información pública de acuerdo con el artículo 22 de la Ley del Ruido.
- Medidas que ya se aplican para reducir el ruido y proyectos en preparación.
- Actuaciones previstas por las autoridades competentes para los próximos cinco años, incluidas medidas para proteger las zonas tranquilas.

4.2. NORMATIVA DE PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES

4.2.1. Normativa europea

- Directiva 89/391/CEE del Consejo, de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo (Directiva Marco).
- Directiva 2003/10/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de febrero de 2003, sobre las disposiciones mínimas de seguridad y de salud relativas a la exposición de los trabajadores a los riesgos derivados de los agentes físicos (ruido).

4.2.2. Normativa española

- La Ley 31/1995, de 8 de noviembre, de Prevención de Riesgos Laborales.
- Ley 54/2003, de 12 de diciembre, de reforma del marco normativo de la prevención de riesgos laborales.
- Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención.

- Real Decreto 604/2006, de 19 de mayo, por el que se modifican el Real Decreto 39/1997, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de los Servicios de Prevención, y el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.
- Real Decreto 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido.

4.3. VALORES LÍMITE NIVEL DE PRESIÓN ACÚSTICA

De la normativa expuesta anteriormente, se extraen los siguientes niveles de presión acústica, Según el artículo 5 del RD 286/2006.

Tabla 2: Valores límite de exposición y valores de exposición que dan lugar a una acción

	$L_{Aeq,d}$	L_{pico}
Valores límite de exposición	87 dB(A)	140 dB(C)
Valores superiores de exposición que dan lugar a una acción	85 dB(A)	137 dB(C)
Valores inferiores de exposición que dan lugar a una acción	80 dB(A)	135 dB(C)

5. OBJETO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El objeto de este estudio es el desarrollo del Mapa Acústico del núcleo central del campus de la Universitat Jaume I de Castellón, comprendido por el Jardín de los Sentidos y el Ágora, de forma que se mida y evalúe el estado de la calidad y confort acústico de esta zona del campus.

De los resultados de exposición a dichos niveles por los usuarios de la universidad, así como los propios trabajadores que discurren por el emplazamiento objeto de estudio se elaborarán propuestas y medidas que se pudieran implementar en un Programa de Actuación Acústica para reducir los niveles de ruido.

En 2013 se realizaron medidas en la misma zona. Es por ello que el presente estudio pretende evaluar las variaciones que se hayan podido producir. Además, también se analizará la repercusión que haya podido tener la puesta en marcha de la nueva línea de TRAM. A priori, se deben haber reducido los niveles de acústicos, dado que se ha reducido la circulación de vehículos de combustión interna por vehículos eléctricos. Se analizará cuán significativo ha sido esto.

6. ZONA DE ESTUDIO

6.1. EMPLAZAMIENTO

La Universidad de Castellón es la “Universitat Jaume I”, sita en el término municipal de Castellón de la Plana, es un centro público de enseñanza superior, creada en 1991, que cuenta con algo más de 13.000 estudiantes.

Está concentrada en único campus, lo que facilitan tanto el aprovechamiento de todas sus instalaciones, como la optimización y facilidad de transporte y comunicación a través de las distintas infraestructuras que la comunican con el exterior.

La Universitat Jaume I ocupa unos 800.000 m², estando delimitada por la autopista AP-7, las carreteras CV-1520 y CV-1540 (junto al “Riu Sec de Borriol”) y la Avenida de Vicent Sos Baynat. En los últimos años, la ciudad de Castellón ha estado inmersa en una gran multitud de cambios en lo que a infraestructuras viarias se refiere, y la Universitat Jaume I no ha sido ajena a ellos, lo que ha facilitado dotar a la UJI de una amplia red de accesos y comunicaciones, tal como son el acceso de la zona norte por la CV-1520 o bien por la parte este, bien desde la misma CV-1520, o bien por la CV-1540, ambos accesos vertebrados gracias a la Avenida Vicent Sos Baynat.

La Universitat Jaume I se encuentra comunicada con el exterior, en cuanto a infraestructuras de transporte se refiere, a través de los accesos anteriormente comentados. Y en el caso particular de la zona del campus comprendida por El Jardín de los Sentidos y El Ágora, las vías principales de acceso son mediante la rotonda de la Avenida Vicent Sos Baynat, desde cualquiera de los viales interurbanos que en ella confluyen, así como desde los viales interiores que dan acceso desde el mismo recinto universitario.

Por lo que respecta al acceso desde esta rotonda de la Avda. Vicent Sos Baynat, la afluencia al campus se desarrolla a través de dos vías, bien peatonalmente, bien mediante tráfico rodado, a diferenciar entre la circulación de vehículos de particulares, de la entrada y salida del Servicio Municipal de Transportes del Ayuntamiento, así como el que se debe al TRAM, un servicio de trolebús que desde 2008, conecta la universidad con el centro de Castellón.

El TRAM, en días lectivos y durante el año académico (de septiembre a junio), tiene una frecuencia aproximada de paso de 5 minutos, por lo que respecta al periodo horario comprendido entre las 7:30 h. a las 9:30 h. Y de 8 minutos en el resto del tramo horario del día, es decir, de 9:30 h. a 22:30 h., lo que supone una circulación continua de tres vehículos.

Mientras que el Servicio Municipal de Autobuses presenta la frecuencia de paso con mayor variabilidad temporal, pues a diferencia del TRAM, que circula por una vía especialmente diseñada para tal fin y su frecuencia de paso suele ser, en cierta medida, bastante constante, los autobuses circulan conjuntamente con el resto de tráfico rodado, de tal forma que aunque los horarios estén prefijados de antemano, su frecuencia de paso está supeditada a la fluidez del tráfico, así como a posibles incidentes o obras que se encuentren/efectúen en las distintas rutas, por lo que no resulta infrecuente observar la entrada o salida de más de un autobús conjuntamente al campus.

El tráfico rodado ligero que accede al campus, se caracteriza básicamente por automóviles que utilizan docentes, personal administrativo y de servicios, así como los propios alumnos, siendo el trasiego de entrada y salida constante a lo largo de toda la jornada.

Finalmente, en lo que se refiere al tránsito de peatones por la zona de estudio, se da de una forma más o menos continua a lo largo de toda la jornada universitaria, además no hay que olvidar a un gran número de usuarios del campus, que si bien, propiamente no discurren por él, sí se encuentran en las zonas ámbito de estudio, Ágora y Jardín de los Sentidos, disfrutando de sus ratos de ocio y esparcimiento.

A continuación se muestra una imagen del campus de la universidad Jaume I de Castellón. El rectángulo de color rojo se marca la zona objeto de estudio, la cual se detalla posteriormente.



Figura 2: Ortofoto campus Universitat Jaume I

6.2. ZONA DE ESTUDIO

La zona en la que se va a evaluar su nivel acústico comprende la zona central del campus, constituida por el Jardín de los Sentidos y el Ágora, así como sus zonas adyacentes delimitadas por la Escuela Superior de Tecnología y Ciencias Experimentales, la Facultad de Ciencias Jurídicas, el edificio de la Biblioteca y el del Rectorado.

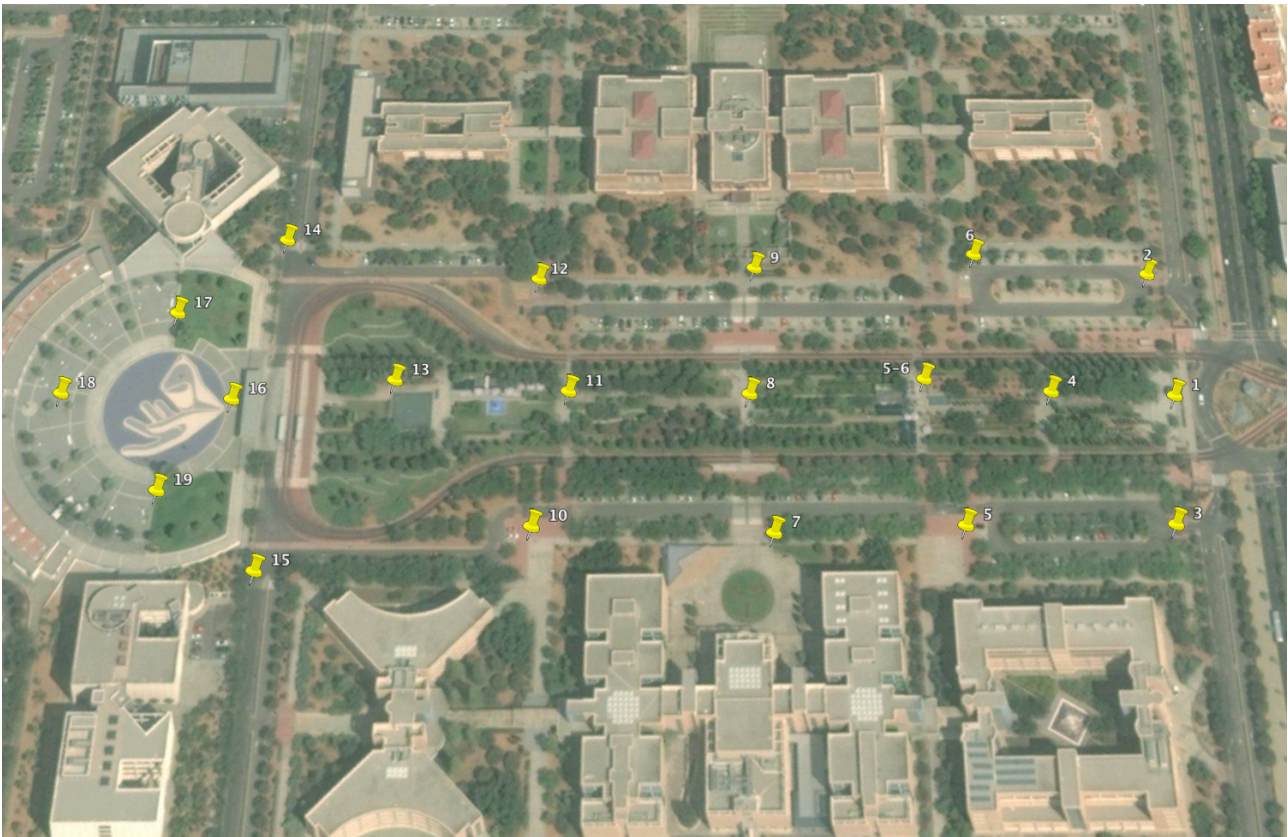


Figura 3: Punto de medición

Los puntos seleccionados quedan definidos en la siguiente tabla

Tabla 3: Localización y descripción de los puntos de medición

Punto	UTM X (m)	UTM Y (m)	Descripción
1	750.583,43	4.431.094,81	Zona próxima a rotonda Avenida Vicente Sos Baynat
2	750.602,89	4.431.143,76	Aparcamiento FCJE
3	750.554,86	4.431.050,37	Aparcamiento ESCTE
4	750.540,46	4.431.118,41	Jardín de los Sentidos
5	750.482,43	4.431.087,83	Aparcamiento ESCTE
5-6	750.494,93	4.431.148,38	Jardín de los Sentidos. Bar-Terraza
6	750.543,71	4.431.183,37	Aparcamiento FCJE
7	750.415,86	4.431.117,18	Aparcamiento ESCTE
8	750.433,10	4.431.172,48	Jardín de los Sentidos
9	750.460,31	4.431.219,79	Aparcamiento FCJE
10	750.334,93	4.431.163,25	Aparcamiento ESCTE
11	750.370,86	4.431.206,91	Jardín de los Sentidos. Bar-Terraza
12	750.380,96	4.431.255,43	Aparcamiento FCJE
13	750.311,47	4.431.242,18	Jardín de los Sentidos. Fuente
14	750.296,60	4.431.317,62	Parada de Autobuses. Rectorado
15	750.234,33	4.431.196,71	Parada de Autobuses. Biblioteca
16	750.251,35	4.431.264,46	Parada de Autobuses. Marquesina
17	750.245,65	4.431.308,98	Ágora. Rectorado.
18	750.192,88	4.431.289,09	Ágora
19	750.212,16	4.431.243,13	Ágora. Biblioteca

7. METODOLOGÍA

7.1. FOCOS DE RUIDO

Los focos de ruido que se generan en la zona del Ágora así como en el Jardín de los

Sentidos y zonas adyacentes se pueden caracterizar de las siguientes formas:

7.1.1. Tráfico rodado

El principal foco de ruido es el tráfico rodado debido a la circulación de vehículos pesados correspondiente al Servicio Municipal de Autobuses, que discurre periódicamente por los carriles habilitados en el interior del campus, participando en menor medida por los momentos de paso del TRAM.

Cabe destacar la rotonda de acceso desde la Avda. Vicent Sos Baynat, en la cual confluyen gran cantidad tráfico que bien acceden a la universidad, bien discurre por esta vía . Además, el propio movimiento de vehículos interno en las diferentes zonas de aparcamiento aledaño al Jardín de los Sentidos, correspondiéndose.

7.1.2. Ruido conversacional

Mientras que en cuestión de peatones y ruido conversacional, se tendría como principal zona con mayor nivel acústico, la zona del Ágora y los distintos puntos de ocio que se encuentran ubicados dentro del Jardín de los sentidos. Para la localización de los puntos de medida se han escogido enclaves representativos de las distintas zonas del emplazamiento, de forma que se puedan tener datos de ruido provocado por tráfico rodado, así como el ruido debido a las tareas de descanso y esparcimiento o la propia circulación de peatones que se da en el campus.

7.1.3. Otras fuentes de ruido

A parte de las mencionadas anteriormente, en la zona del Ágora se realizan actividades de conciertos, charlas y espectáculos diversos, que a veces deben convivir con las zonas de estudio de la biblioteca. Además, en la zona del Jardín de los Sentidos, se encuentra una fuente de agua, y dos bares los cuales tienen música. Hay que añadir que uno de ellos posee un fútbolín.

7.2. MEDICIONES

Identificados los principales focos generadores de ruido de los emplazamientos descritos, se plantea el Plan de Mediciones. Para su realización se identifican los puntos a medir sobre una ortoimagen del emplazamiento, obteniendo sus coordenadas U.T.M., de forma que posteriormente puedan ser georreferenciados los niveles de medición obtenidos. Se establece un total de 20 puntos a evaluar, de tal forma que se cubra totalmente y sean representativos de la zona a estudiar.

Así mismo, se pautan dos periodos horarios de medida, uno correspondiente a mañana y otro correspondiente a “tardes”, de forma que se obtendrá un mapa de zonificación acústica para cada una de las franjas horarias de mayor actividad universitaria.

Se realizan en total 40 medidas, repartidas en 20 medidas para el periodo matinal, de 10:50 a 13:06 horas, y 20 medidas para el de tarde, de 18:50 a 21:00 horas

Los datos obtenidos para cada punto, se exportarán a un software de modelización para definir posteriormente, el mapa de zonificación acústica.

No se contemplan los valores "pico" que se concentrarían en aquellos momentos en los que pueda suceder un acontecimiento singular como el paso de un vehículo con música alta y ventanillas bajadas, vehículo con escape libre de los gases de combustión, etc.

7.3. EQUIPOS DE MEDIDA Y DE TRATAMIENTO DE DATOS ACÚSTICOS

La toma de medidas, así como el posterior tratamiento de los datos obtenidos han sido realizados con los equipos que se muestran a continuación:

7.3.1. Sonómetro

Para la realización de las medidas acústicas se ha utilizado un sonómetro modelo SC310 de la casa comercial CESVA Instrumentos S.L.U. Se trata de un sonómetro integrador promediador clase 1, adaptado a las normas internacionales IEC 60651, IEC 60804 y IEC 61672 y sus correspondientes comunitarias UNE-EN 60651 y UNEEN 60804. El SC 310 cumple asimismo las normas americanas ANSI S1.4 y ANSI S1.43. EL SC 310 también es un analizador de espectro en tiempo real por bandas de octava y tercio de octava, con filtros clase 1, según IEC 61260 y UNE-EN 61260, cumpliendo

también a su vez, con la norma ANSI S1.11.

El SC 310 permite realizar medidas del siguiente tipo:

- Sonómetro integrador y estadístico.
- Analizador de espectro en tiempo real por bandas de octava.
- Analizador de espectro en tiempo real por bandas de tercio de octava.



Figuras 4 y 5: Sonómetro CESVA SC310

7.3.2. Calibrador-verificador acústico

Para la verificación y ajuste de la sensibilidad del SC 310, proceso necesario a realiza tanto antes como tras la finalización de una medición, el sonómetro dispone del calibrador acústico CESVA, modelo CB-6, para sonómetros clase 1, que cumple con la norma UNE 20942 y la IEC 60942.



Figuras 6 y 7: Pistófono CESVA CB-5

7.3.3. Software de procesamiento de datos acústicos

El sonómetro CESVA SC 310 dispone de un versátil software de procesamiento denominado CAPTURE STUDIO, que permite tanto configurar el sonómetro, como volcar todos los datos registrados en un ordenador personal, para poder tenerlos disponibles en formato electrónico, permitiendo exportarlos a otros software, así como poder analizarlos y desglosarlos, tanto en forma numérica como gráfica.

Para poder generar una gráfica la cual contenga los diferentes niveles de presión acústica que presenta un punto, exportamos los datos que nos proporciona el software facilitado por CESVA a una hoja de cálculo.

7.4. CONTROL DE LAS CONDICIONES DE MEDIDA

En vistas a conseguir la mayor representatividad de las mediciones, se intenta medir siempre en el mismo rango de condiciones emplazando siempre el sonómetro a las distancias pertinentes, tanto del suelo como de posibles edificios existentes, así como realizar las mediciones siempre dentro del mismo rango de condiciones ambientales, respetando los requisitos que las distintas normativas y reglamentaciones técnicas al efecto establecen, de esta forma, se tiene:

7.4.1. Control de las condiciones ambientales

Resulta necesario para que las mediciones y los datos obtenidos sean lo más representativos y reproducibles posible, medir en unas mismas condiciones de presión, temperatura y humedad relativa, siendo de las tres variables mencionadas, la temperatura y la humedad relativa, las que mayor variabilidad pueden experimentar para un mismo punto geográfico de medición.

Puesto que en unas mismas coordenadas geográficas, a una altitud sobre el nivel del mar constante, la presión atmosférica se mantiene fija, sólo variando a consecuencia de la posible influencia de las borrascas y los anticiclones.

Otro factor a tener en cuenta es la velocidad del viento en el momento de la medición, puesto que puede influir sensiblemente en el ruido de fondo, y acabar alterando la medición realizada.

Para minimizar el efecto producido por el viento, el SC 310 dispone de un filtro antiviento modelo PVM05, de la casa comercial CESVA, que es capaz de absorber y rectificar estas interferencias, a pesar de ello, y siguiendo con la línea de realizar las mediciones siempre dentro de un estrecho margen de condiciones ambientales, de forma que se asegure la representatividad en la toma de mediciones.

Según las especificaciones técnicas del fabricante, en lo que respecta a las condiciones ambientales y las mediciones de niveles acústicos, se tiene los siguientes intervalos:

- Por lo que respecta a la influencia de la temperatura ambiental en el sonómetro SC 310, el margen de funcionamiento es de $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un error máximo para el intervalo de temperaturas mencionado de $0,5\text{ dB}$.

- Mientras que en lo referente a la influencia de la humedad en el sonómetro SC 310, el margen de funcionamiento es para un rango de humedades relativas de 30% al 90 %, con un error máximo para $30 \% < HR < 90 \%$ a 40 °C y 1 kHz de 0,5 dB.
- En lo que se refiere al efecto del viento, para las mediciones en el ambiente exterior, se realizarán auxiliando al equipo con pantalla protectora antiviento. Así mismo, cuando en el punto de evaluación la velocidad del viento sea superior a 5 m/s, según indicaciones de la reglamentación acústica, se desistirá en la medición, no obstante según las especificaciones técnicas del SC 310, la pantalla antiviento modelos PVM05, que es la que se ha utilizado en la toma de mediciones, cubre ampliamente el rango de 0 a 5 m/s que especifica la normativa, con una atenuación menor a 1 dB para frecuencias menores a 10.000 Hz

7.4.2. Minimización de reflexiones

Para la minimización de los posibles sesgos que pudieran derivarse de una medición cercana al suelo, debida a las reflexiones y demás fenómenos ondulatorios difíciles de discriminar, el sonómetro dispone de un trípode/soporte metálico que permite ubicarlo a la altura que se considere conveniente, optando por 1'5 metros, por ser está la altura respecto del suelo reglamentariamente aceptada para la toma de medidas acústicas. Mientras que por lo que respecta a las fachadas y paramentos verticales, los puntos de muestreo se han emplazado todos a más de 5 metros lineales de paramento vertical que también pudiera afectar en la medición. Para cerciorarnos de que cada

vez que se realiza la medición se realiza a esta altura, se dispone de un medidor laser marca Leica, modelo DISTO D5, con una precisión del orden del milímetro.

7.5. MÉTODO OPERATIVO DE LA REALIZACIÓN DE LAS MEDICIONES

Partimos de medidas reales de nivel SPL (Nivel de Presión Acústica-dBA) tomadas a una altura relativa constante de 1,5 m. Se realizan en total 40 medidas, repartidas en 20 medidas para el periodo matinal, de 10:50 a 13:06 horas, y 20 medidas para el de tarde, de 18:50 a 21:00 horas siendo la duración de cada medida de 5 minutos.

El procedimiento a seguir es el siguiente:

- 1) Se proceda al estacionamiento del soporte del sonómetro y colocación del mismo a 1,5 metros de altura relativa sobre el nivel del suelo, su medición se realizará para cada estacionamiento, con el empleo de un distanciómetro de precisión láser, y siempre antes de empezar a medir. Además el micrófono se orientará hacia los focos de ruido, con una inclinación respecto del plano horizontal comprendida entre 30 y 45°.



Figura 8: ejemplo de medición

- 2) Se grabarán los resultados en la memoria del sonómetro para su posterior volcado en la computadora en una posterior fase de gabinete.
- 3) El sonómetro se calibrará antes y después de la realización de cada medición, para comprobar la fiabilidad de la medida.
- 4) Se recopilarán todos los datos obtenidos en las Tablas de Medición, una para el periodo de mediciones matinal y una para el vespertino en las que constará para cada punto:
 - Fecha y hora de la medición.

- Coordenadas X e Y U.T.M. en metros.
- Nivel equivalente de presión acústica para 5 minutos de medición (Leq 5' dBA) .

Estos puntos están localizados en las correspondientes tablas de datos de medida, y en las correspondientes cartografías acústicas obtenidas a partir de ellas, donde también se muestran los niveles obtenidos en franja horaria diurna y la franja horaria vespertina. Una vez obtenidas las tablas de valores anteriores con los distintos niveles medidos en cada punto y durante ambas franjas horarias, se procederá a obtener los niveles equivalentes, así como la exposición media para, cada franja horaria, calculados mediante media aritmética logarítmica.

Estos valores nos permiten valorar la afeción sonora actual y, en caso de ser necesario, la posibilidad de implementar un Plan de Medidas Correctoras si ello fuera necesario.

De esta forma, las mediciones se ajustan a las especificaciones técnicas, en cuanto a la realización de mediciones para evaluar los niveles sonoros en el exterior, que las condiciones de humedad y temperatura deberán ser compatibles con las especificaciones del fabricante del equipo de medida, no sobrepasando nunca la medición con velocidades de viento mayores a 5 m/s, puesto que se ha trabajado siempre dentro de estos rangos de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y distancias de 1'5 metros a la horizontal del y 2 metros a paramentos verticales.

Según la normativa vigente en materia de contaminación acústica, en lo que a condiciones de medición se refiere, y siguiendo lo dispuesto en el Real Decreto 1367/2007, por el que se desarrolla la Ley 37/2003 de Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas, en su Anexo IV Métodos y Procedimientos de Evaluación para los Índices Acústicos, así como las correspondientes disposiciones normativas de aplicación en la Comunidad Valenciana.

8. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LOS NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA

8.1. CURVAS DE PRESIÓN ACÚSTICA

Para la representación de los niveles de presión acústica obtenidos en las distintas mediciones realizadas en la zona de estudio, se procede mediante la elaboración de su cartografía acústica, de forma que quede representada de forma gráfica y a una escala adecuada, la zonificación acústica del Jardín de los Sentidos y del Ágora del Campus de la Universitat Jaume I.

Tal y como se deriva del concepto de campo vectorial y de la teoría de planos acotados, anteriormente descritos, para poder asociar a cada punto del espacio un valor de decibelios (dBA) es necesario disponer de las coordenadas, bien relativas, bien absolutas del emplazamiento a cartografiar, de este modo, se ha optado por el empleo del Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator, U.T.M., por ser el sistema de proyección actualmente más aceptado y utilizado, además de ser el utilizado para representar el actual Mapa Topográfico Nacional de España.

El Sistema de Proyección U.T.M., tiene como ventaja que a diferencia del sistema de coordenadas geográficas, que se expresan en longitud y latitud mediante grados sexagesimales, las coordenadas U.T.M., se expresan en metros. El Sistema de Coordenadas U.T.M. es una proyección cilíndrica, esta superficie cilíndrica en vez de hacerse tangente al ecuador, se hace tangente a un meridiano de la esfera terrestre. Los puntos del elipsoide terrestre se proyectan sobre el cilindro y al desarrollar la superficie del cilindro, el Ecuador queda representado, transformándose en una recta, que se toma como eje de las coordenadas XX, y el meridiano de tangencia a dicha superficie se transforma en otra recta perpendicular a la anterior, siendo el eje de coordenadas YY.

Este sistema de proyección U.T.M., aplicado a grandes extensiones en longitud, hace que a medida que la representación se aleja del meridiano de tangencia, las deformaciones aumentan. Por ello se recurre al artificio de subdividir la superficie terrestre en 60 zonas o husos, que constituyen 60 proyecciones iguales, pero referidas cada una al meridiano central del huso respectivo y al Ecuador, perteneciendo el emplazamiento de la Universitat Jaume I al Huso 30 de la mencionada

Para la obtención de las coordenadas (x,y) U.T.M., de los puntos de medida se han utilizado las ortoimágenes aéreas de la zona de trabajo, georreferenciadas en los visores de cartografía temática de la Conselleria de Infraestructures, Territori i Medi Ambient y del Instituto Cartográfico Valenciano, ambos dependientes de la Generalitat Valenciana, así como el visor del Sistema de Información Geográfica de Identificación de Parcelas Agrícolas, visor SigPAC, del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, correspondiendo las ortofotografías empleadas en este trabajo al vuelo realizado en octubre de 2009.

Un Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS, Geographic Information System) es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para analizar, integrar y editar la información espacial geográficamente referenciada en una cartografía, todo ello referido a un sistema de coordenadas terrestre, con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión del territorio, así como de cualquier tipo de investigación científica que pudiera estar relacionada con el mismo, permitiendo mostrar la información en capas temáticas superpuestas para realizar análisis multicriterio complejos.

En un sentido más amplio, se puede afirmar, que los SIG son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas contruidos a base de capas temáticas, y presentar los resultados de todas estas operaciones.

Una vez obtenidos tanto los datos de nivel equivalente de presión acústica (L_{eq}) de cada punto en el que se ha realizado la medición con el sonómetro, se procede a la georreferenciación de las medidas con las coordenadas U.T.M., de cada punto de medición, coordenadas obtenidas a partir de los servidores digitales de información geográfica anteriormente descritos, con lo que se tendrá una lista de puntos que quedan representados mediante el formato de tres coordenadas abscisa, ordenada, nivel equivalente de presión acústica, (x , y , L_{eq}), permitiendo obtener así las líneas de igual presión sonora.

Para la realización de la cartografía de ruido de la zona de trabajo, se utiliza el software TopoCal. Se trata de un paquete informático que ha sido concebido para el diseño y cálculo matemático de planos topográficos.

Es un programa informático de tipo CAD, utilizado para crear modelos digitales del terreno tanto en dos dimensiones (2D) como en tres dimensiones (3D). Este software es capaz de leer archivos con formatos *.MDT, *.DWG, *.ASCII, *.DXF, *.TOP, lo que es realmente ventajoso a la hora de exportar e importar archivos.

Los datos de nivel equivalente de ruido obtenidos para cada punto de medición, y sus correspondientes coordenadas U.T.M., se vuelcan en TopoCal, generando una nube de puntos, a partir de la que se obtiene una malla triangular de tres dimensiones, gracias a las herramientas de triangulación, mallado y creación de modelos digitales de las superficies a representar, de las que dispone el programa. Una vez generada la malla y la creación del modelo digital del terreno, se trazarán las curvas de igual nivel (isolíneas) de la zona de trabajo, estableciendo la equidistancia entre ellas, así como la designación de las curvas maestras del plano. Finalmente se refina el resultado con el suavizado de las curvas de nivel de la superficie obtenida.

Topocal, permite exportar el archivo de curvas de ruido generado, como un formato *.DXF, de forma que posibilite su apertura con el software de Autodesk AutoCAD 2012, un software de CAD, diseño asistido por computadora, para dibujo y diseño en dos y tres dimensiones.

Tanto TopoCal como AutoCAD, permiten la posibilidad de convertir las isolíneas generadas en polilíneas, crear este tipo de entidades es eminentemente práctico en vistas a la organización de la distinta información en colores, valores característicos, etc.

Con AutoCAD se puede gestionar la información en capas, además este software permitirá realizar y adecuar, mediante el empleo de las ventanas graficas del espacio papel del programa, el tipo de presentación requerida a nuestras exigencias de trabajo, pudiendo organizar la información en distintas ventanas, así como el ploteado de los planos generados en distintos formatos, A4, A3, A2, etc., según las necesidades del trabajo y la escala seleccionada, para los distintos planos a elaborar, el de situación, emplazamiento y todos aquellos de detalle que sean requeridos

8.2. CÓDIGO DE COLORES

De la tabla 1 de la página 5 de la norma ISO 1996-2:1987, se obtiene el código de colores empleados para la representación gráfica de los niveles.

Tabla 4: Código de colores según ISO 1996-2:1987

dB			R	G	B
Menor 35	Verde claro	Light green	144	238	144
35 – 40	Verde	Green	0	128	0
40 – 45	Verde oscuro	Dark green	0	100	0
45 – 50	Amarillo	Yellow	255	255	0
50 – 55	Ocre	Ochre	204	119	34
55 – 60	Naranja	Orange	255	165	0
60 – 65	Cinabrio	CinnaBar	255	69	
65 – 70	Carmín	Carmine	150	0	24
70 – 75	Rojo lila	Lilac red	200	162	200
75 – 80	Azul	Blue	0	0	255
80 – 85	Azul oscuro	Dark blue	0	0	139

9. RESULTADOS

9.1. TIPOS DE RESULTADOS

Se van a presentar 2 grupos de resultados. Los primeros guardan coherencia para ser comparados con los del estudio realizado en 2013, de tal forma que se van a conocer los niveles acústicos de cada uno de los puntos y las variaciones que se han sufrido a lo largo del tiempo.

Por otro lado, se presentarán los valores de los diferentes niveles acústicos de cada uno de los puntos en bandas de $\frac{1}{3}$ de octava. Con ésto se pretende averiguar la composición del sonido y poder, en consecuencia, adecuar las medidas a adoptar de una manera mas específica.

Este último procedimiento es el empleado en Higiene Laboral para la detección de patologías en el entorno de trabajo. Emplear valores equivalentes nos proporciona información en cuanto al nivel acústico al que está sometido el trabajador. Para poder protegerlo de manera eficaz, debemos conocer cómo se compone dicha fuente de sonido.

9.2. NIVELES ACÚSTICOS EQUIVALENTES

Los puntos seleccionados quedan definidos en la siguiente tabla

9.2.1. Mediciones realizadas el 4 de junio del de 2015

Tabla 5: Mediciones realizadas el 4 de junio de 2015

Punto	UTM X (m)	UTM Y (m)	NIVEL EQUIVALENTE Leq 5' (dBA) Mañana	NIVEL EQUIVALENTE Leq 5' (dBA) Tarde
1	750.583,43	4.431.094,81	58,8	55,7
2	750.602,89	4.431.143,76	58,6	56,3
3	750.554,86	4.431.050,37	55,3	53,2
4	750.540,46	4.431.118,41	51,9	57
5	750.482,43	4.431.087,83	56,4	53,8
5-6	750.494,93	4.431.148,38	62,3	48,4
6	750.543,71	4.431.183,37	52	50,9
7	750.415,86	4.431.117,18	54	53,4
8	750.433,10	4.431.172,48	51,2	56,1
9	750.460,31	4.431.219,79	56,4	49,3
10	750.334,93	4.431.163,25	51,7	57,4
11	750.370,86	4.431.206,91	58	58,3
12	750.380,96	4.431.255,43	55,6	54,2
13	750.311,47	4.431.242,18	65,5	57,6
14	750.296,60	4.431.317,62	61,5	62,1
15	750.234,33	4.431.196,71	61,8	54,3
16	750.251,35	4.431.264,46	68,4	62,3
17	750.245,65	4.431.308,98	49,4	54,4
18	750.192,88	4.431.289,09	52,5	53,1
19	750.212,16	4.431.243,13	53,9	54,1

9.2.2. Mediciones realizadas el 10 de abril de 2013 y 4 de junio de 2015 - Periodo mañana

Tabla 6: Mediciones realizadas el 10 de abril de 2013 y 4 de junio de 2015 – Periodo Mañana

Punto	UTM X (m)	UTM Y (m)	NIVEL EQUIVALENTE Leq 5' (dBA) Mañana año 2013	NIVEL EQUIVALENTE Leq 5' (dBA) Mañana año 2015
1	750.583,43	4.431.094,81	60,5	58,8
2	750.602,89	4.431.143,76	66,7	58,6
3	750.554,86	4.431.050,37	57	55,3
4	750.540,46	4.431.118,41	55,7	51,9
5	750.482,43	4.431.087,83	52,2	56,4
5-6	750.494,93	4.431.148,38	-	62,3
6	750.543,71	4.431.183,37	52,7	52
7	750.415,86	4.431.117,18	52,5	54
8	750.433,10	4.431.172,48	53,1	51,2
9	750.460,31	4.431.219,79	50,2	56,4
10	750.334,93	4.431.163,25	52,2	51,7
11	750.370,86	4.431.206,91	56,3	58
12	750.380,96	4.431.255,43	54,1	55,6
13	750.311,47	4.431.242,18	60,4	65,5
14	750.296,60	4.431.317,62	56,7	61,5
15	750.234,33	4.431.196,71	54,4	61,8
16	750.251,35	4.431.264,46	68,4	68,4
17	750.245,65	4.431.308,98	54,9	49,4
18	750.192,88	4.431.289,09	56,7	52,5
19	750.212,16	4.431.243,13	56,1	53,9

9.2.3. Mediciones realizadas el 10 de abril de 2013 y 4 de junio de 2015 - Periodo tarde

Tabla 7: Mediciones realizadas el 10 de abril de 2013 y 4 de junio de 2015 – Periodo Tarde

Punto	UTM X (m)	UTM Y (m)	NIVEL EQUIVALENTE Leq 5' (dBA) Tarde año 2013	NIVEL EQUIVALENTE Leq 5' (dBA) Tarde año 2015
1	750.583,43	4.431.094,81	58,7	55,7
2	750.602,89	4.431.143,76	56,4	56,3
3	750.554,86	4.431.050,37	56,4	53,2
4	750.540,46	4.431.118,41	52	57
5	750.482,43	4.431.087,83	55,1	53,8
5-6	750.494,93	4.431.148,38	-	48,4
6	750.543,71	4.431.183,37	52,8	50,9
7	750.415,86	4.431.117,18	53,6	53,4
8	750.433,10	4.431.172,48	52,8	56,1
9	750.460,31	4.431.219,79	51,9	49,3
10	750.334,93	4.431.163,25	54,3	57,4
11	750.370,86	4.431.206,91	55,9	58,3
12	750.380,96	4.431.255,43	51,1	54,2
13	750.311,47	4.431.242,18	56,8	57,6
14	750.296,60	4.431.317,62	59,9	62,1
15	750.234,33	4.431.196,71	55,9	54,3
16	750.251,35	4.431.264,46	61	62,3
17	750.245,65	4.431.308,98	53,1	54,4
18	750.192,88	4.431.289,09	57,4	53,1
19	750.212,16	4.431.243,13	57,1	54,1

9.3. NIVELES ACÚSTICOS EN BANDA DE $\frac{1}{3}$ DE OCTAVA

En las gráficas mostradas a continuación, se reflejan 4 valores:

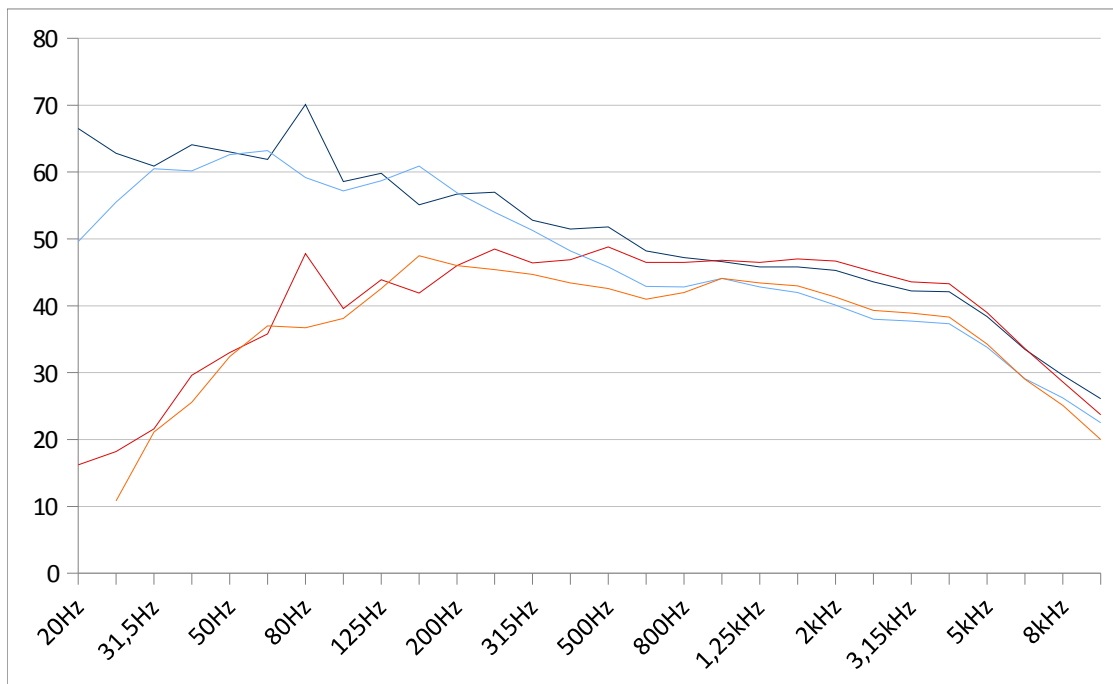
- **dB-M: Nivel de presión acústica – Mañana**
- **dB(A)-M: Nivel de presión acústica ponderación A - Mañana**
- **dB-T: Nivel de presión acústica – Tarde**
- **dB(A)-T: Nivel de presión acústica ponderación A - Tarde**

Se ha decidido mostrar así por la información que se visualiza manera rápida es mucha y muy importante. Por un lado, las curvas expresadas en dB, indican la composición real del sonido. De tal forma que se conoce cómo es, y en que niveles se compone para cada una de las frecuencias. Ésto es vital para poder plantear medidas correctoras.

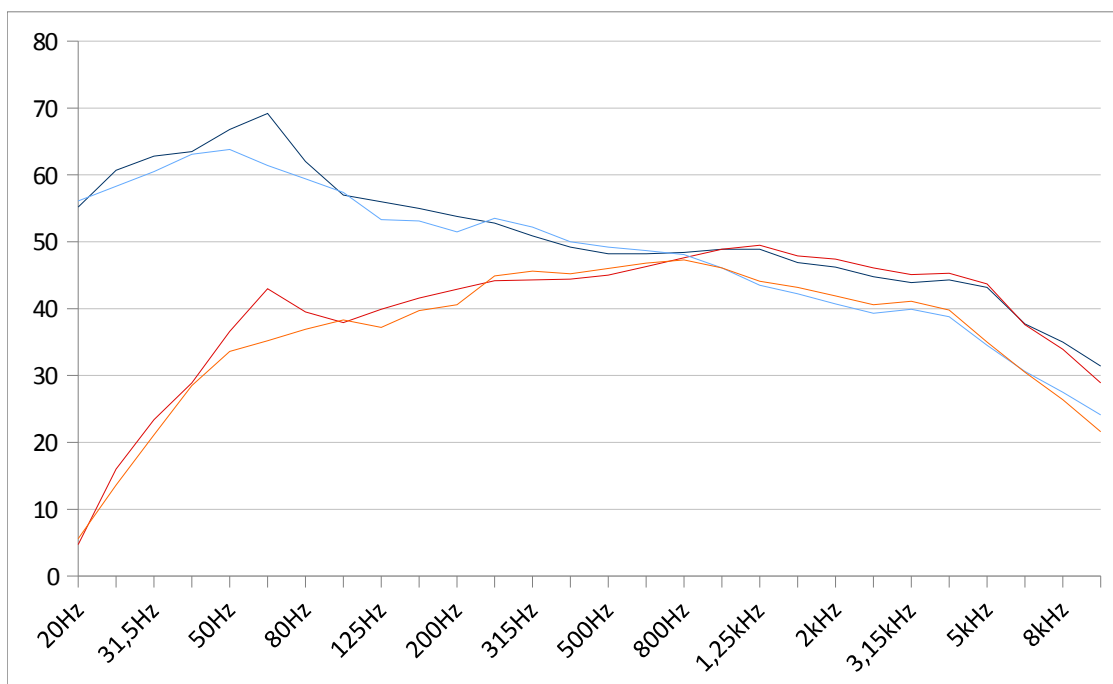
Por otro lado, las curvas ponderadas dB(A), muestran cómo es percibido dicho sonido por el ser humano. De aquí se conoce cómo afecta el sonido al individuo.

Se puede ver a continuación como hay puntos en los que para frecuencias bajas, un nivel alto en dB, resulta insignificante al ponderarlo mediante la curva A y obtener dB(A). Esto indica que dicho sonido no es apreciado por el ser humano, por lo que no resulta molesto.

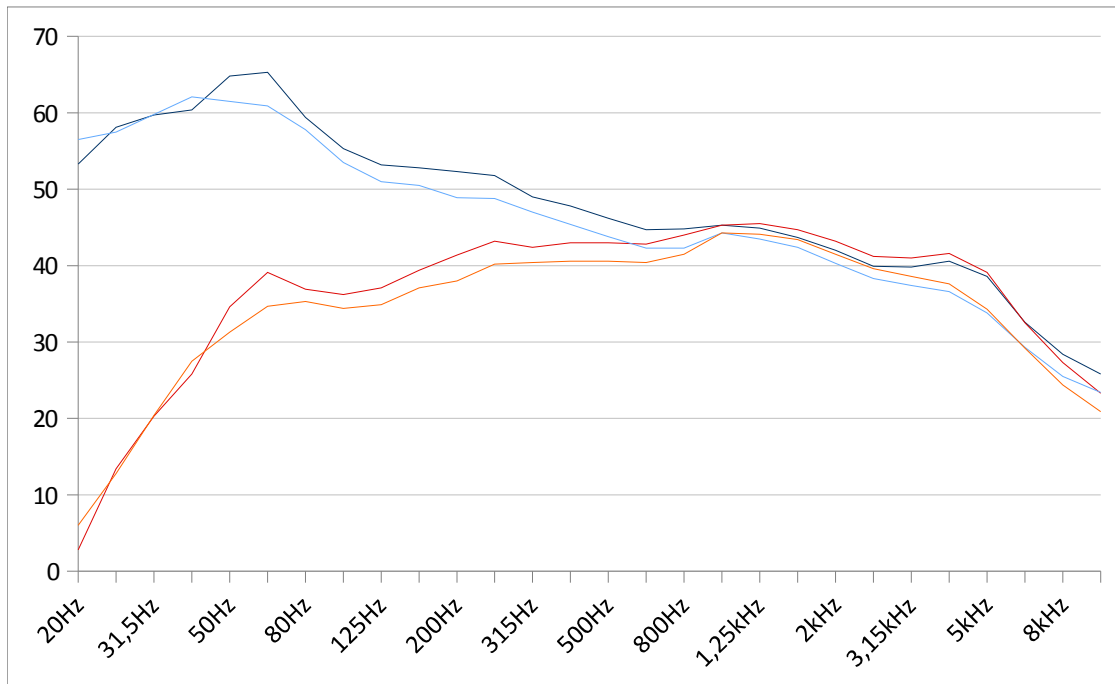
En la parte de conclusiones, discutiremos los puntos singulares y plantearemos algunas medidas de mejora.



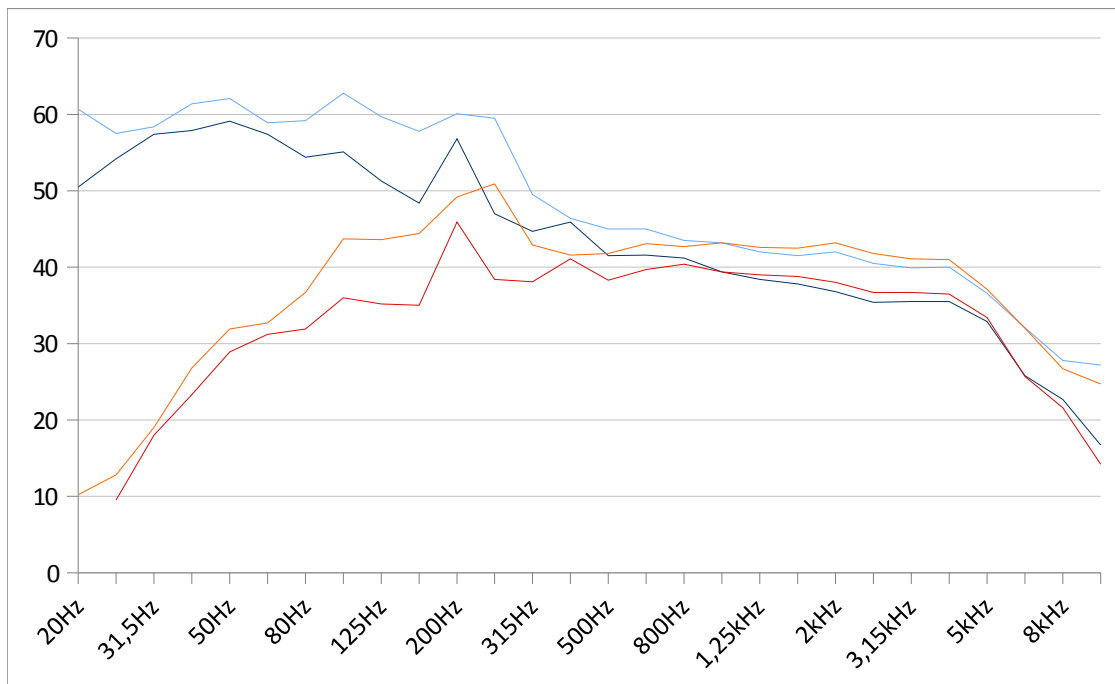
Gráfica 1: Punto de medición 1



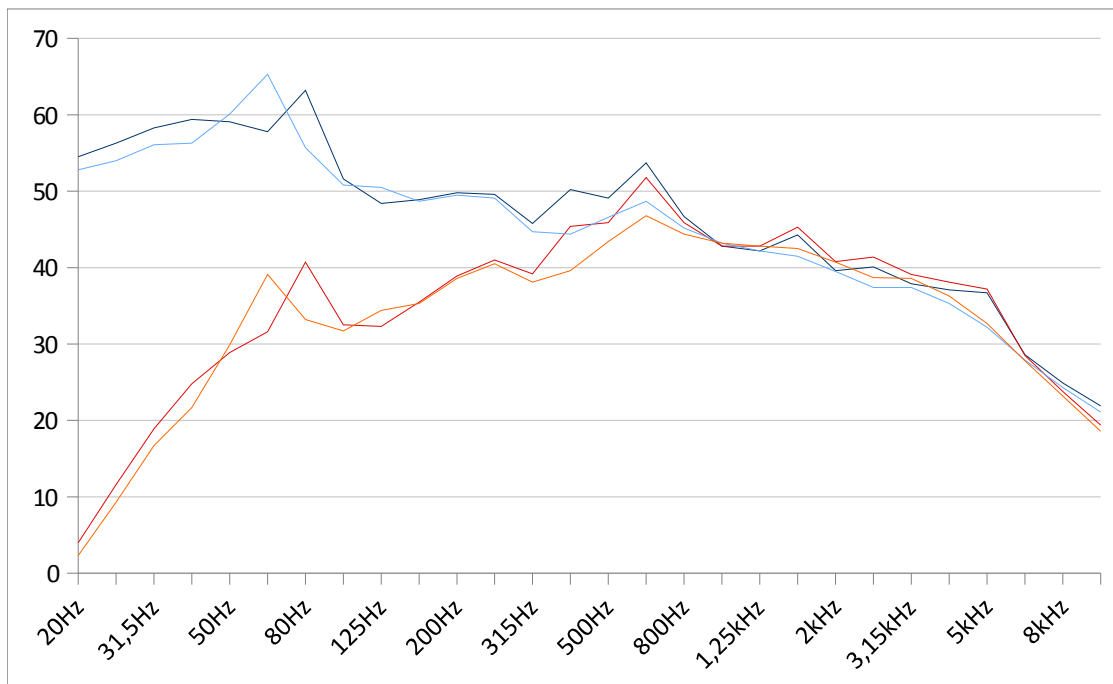
Gráfica 2: Punto de medición 2



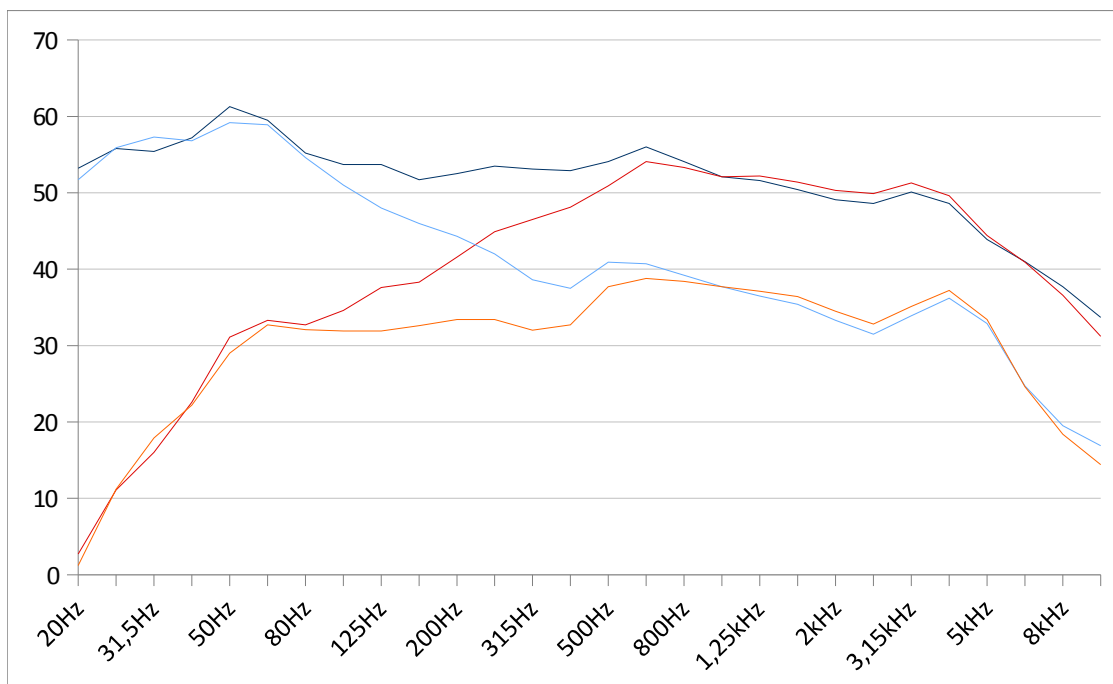
Gráfica 3: Punto de medición 3



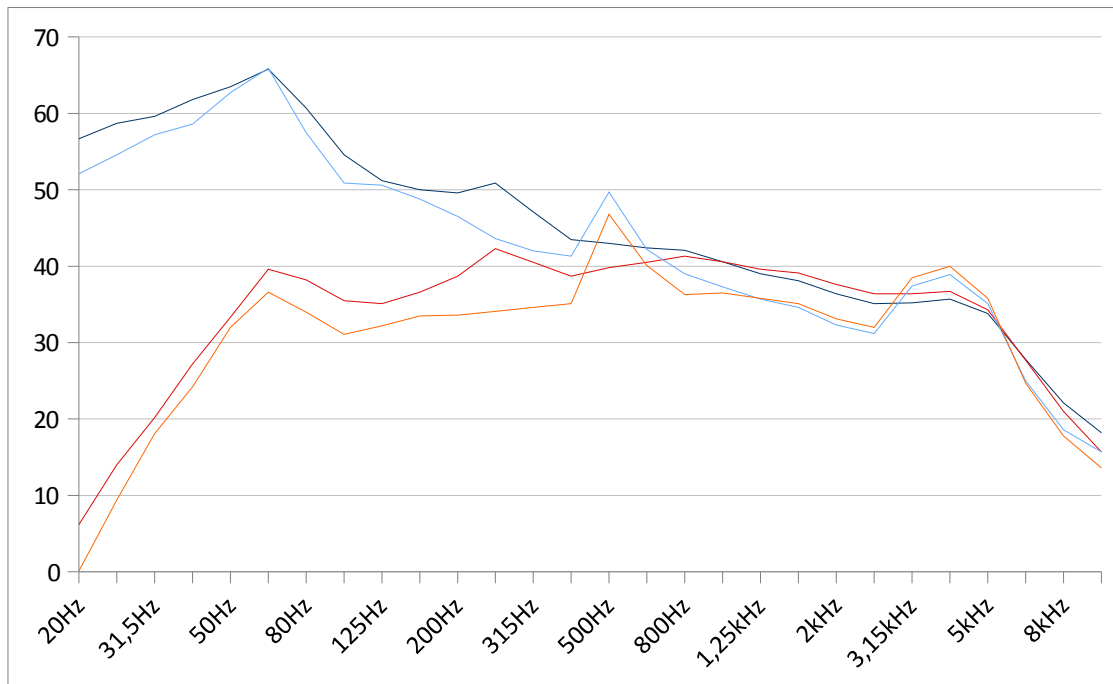
Gráfica 4: Punto de medición 4



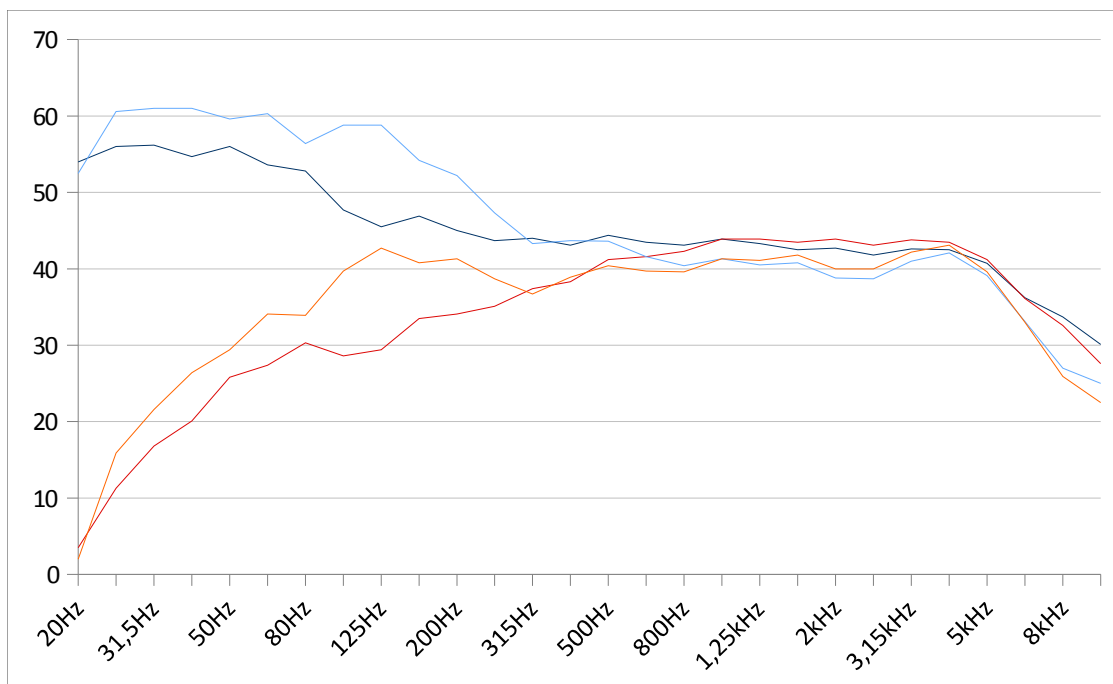
Gráfica 5: Punto de medición 5



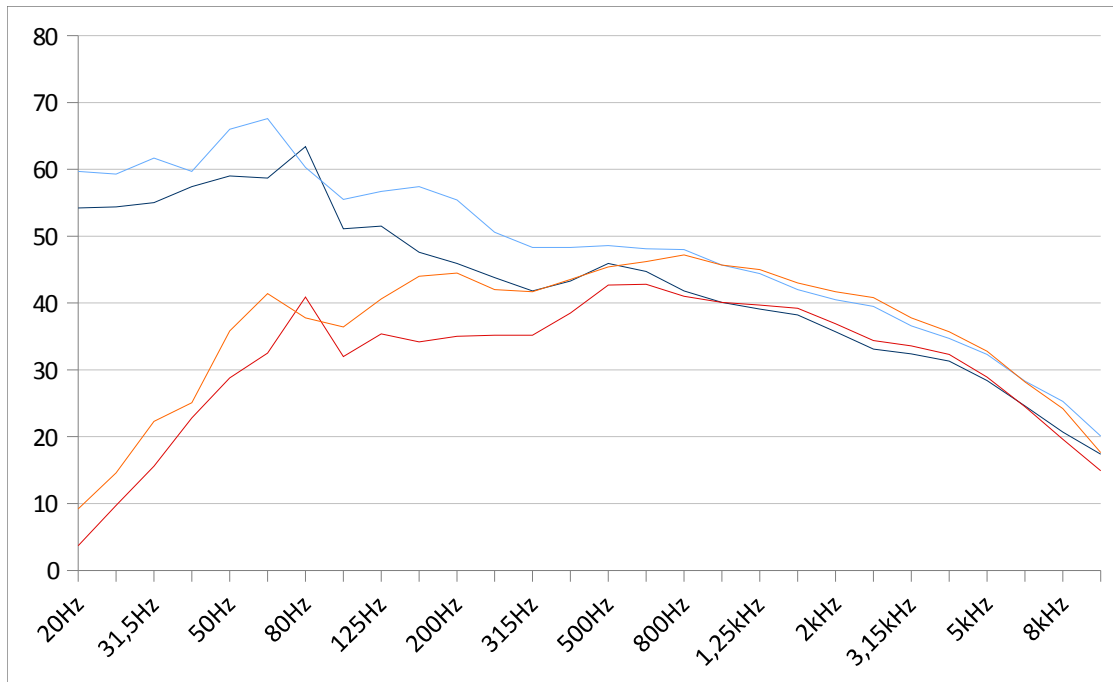
Gráfica 5-6: Punto de medición 5-6



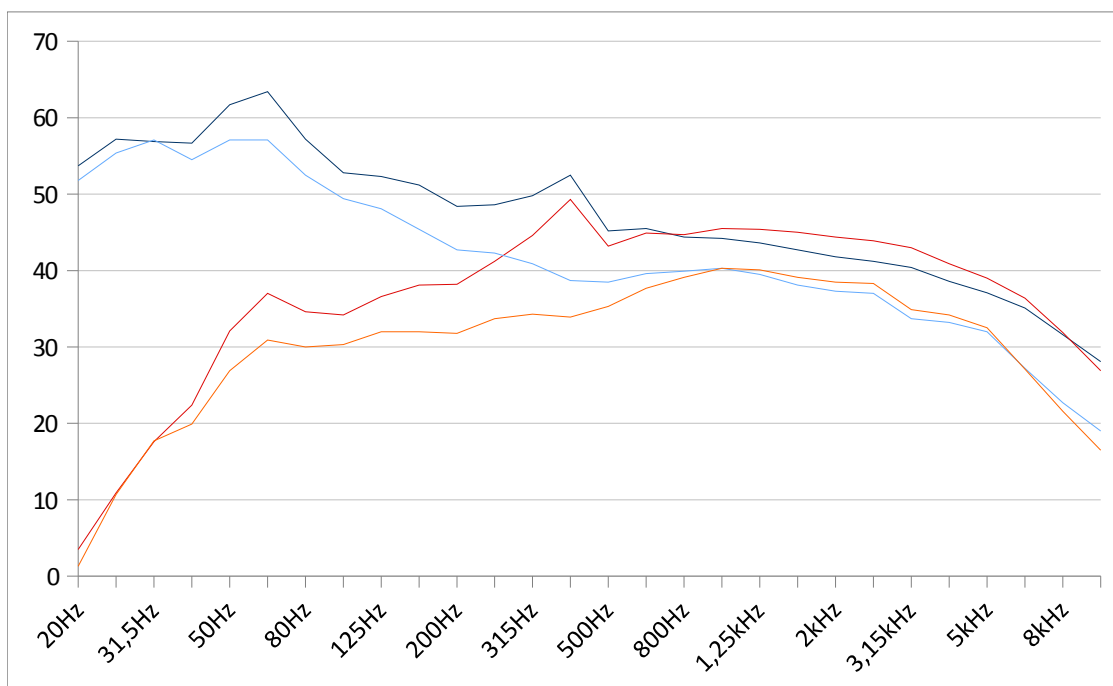
Gráfica 6: Punto de medición 6



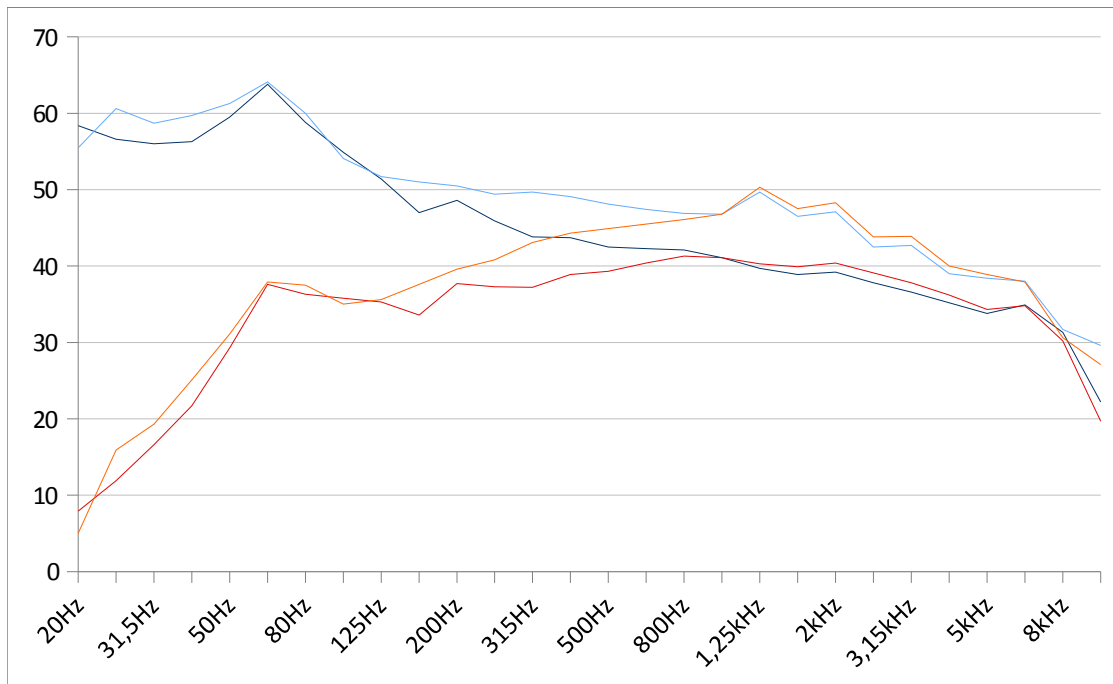
Gráfica 7: Punto de medición 7



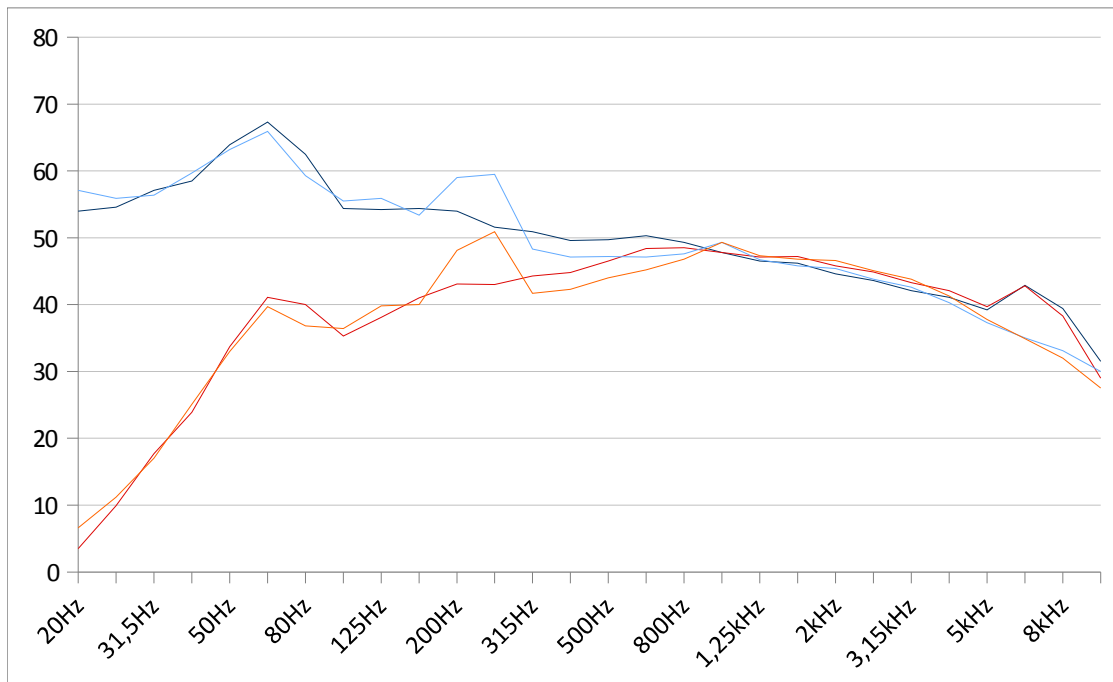
Gráfica 8: Punto de medición 8



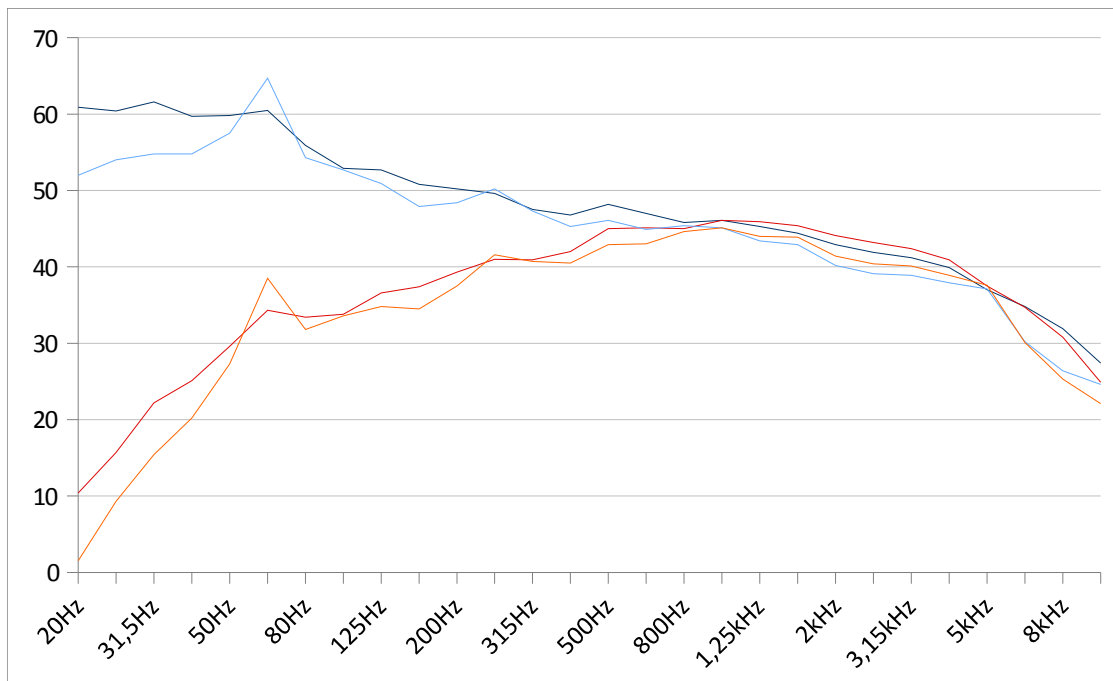
Gráfica 9: Punto de medición 9



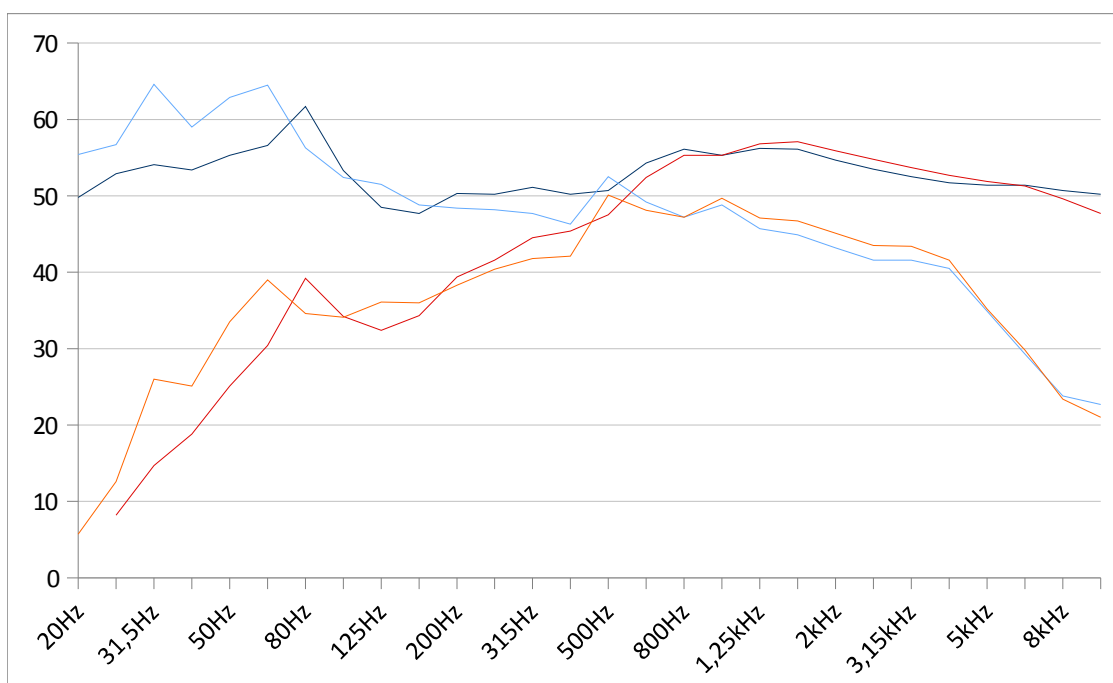
Gráfica 10: Punto de medición 10



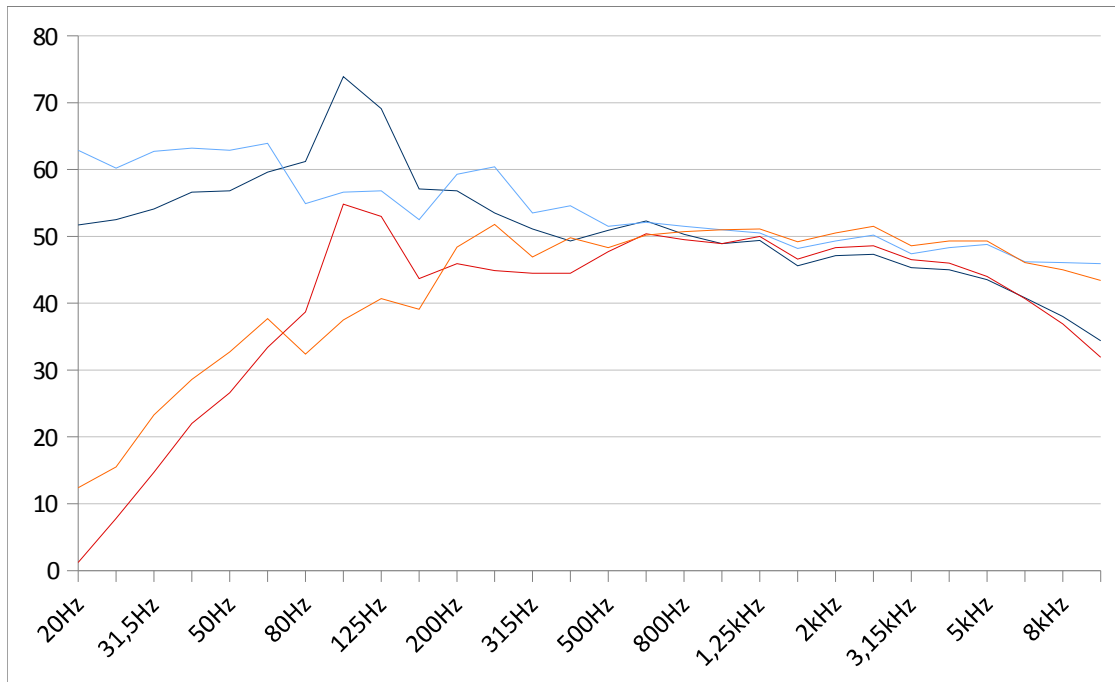
Gráfica 11: Punto de medición 11



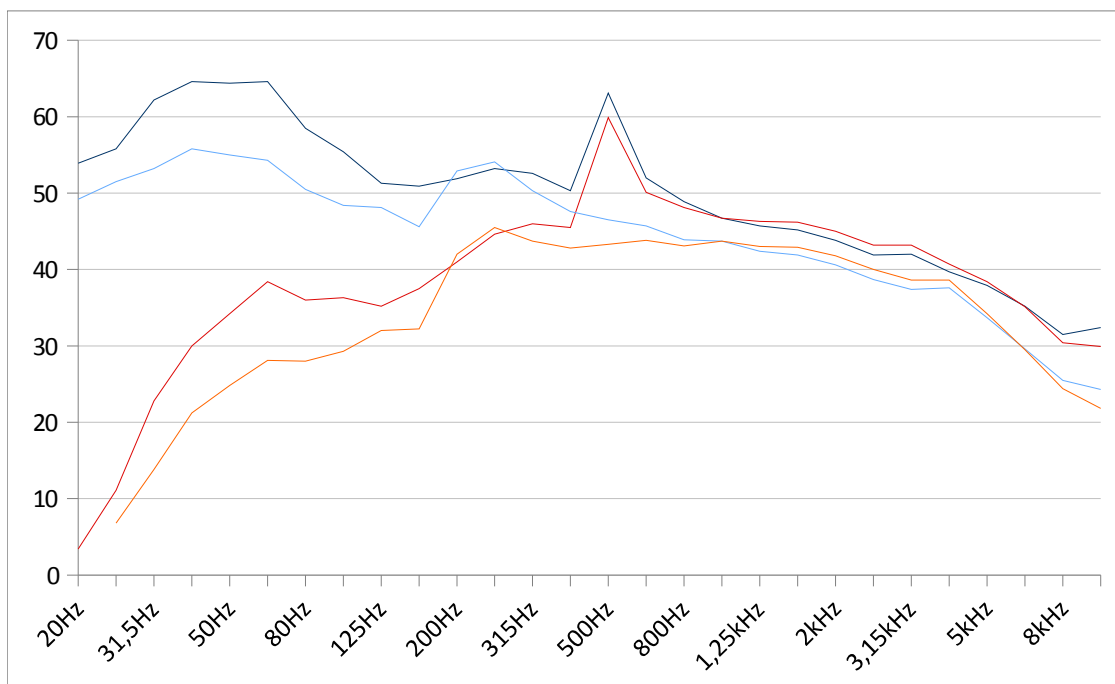
Gráfica 12: Punto de medición 12



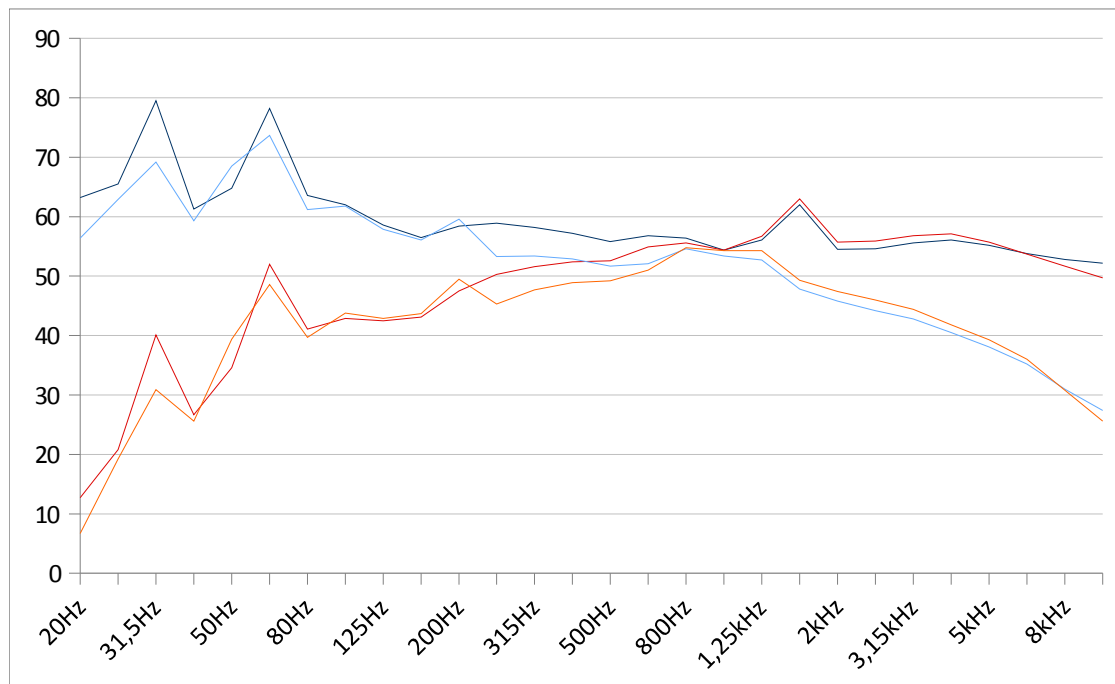
Gráfica 13: Punto de medición 13



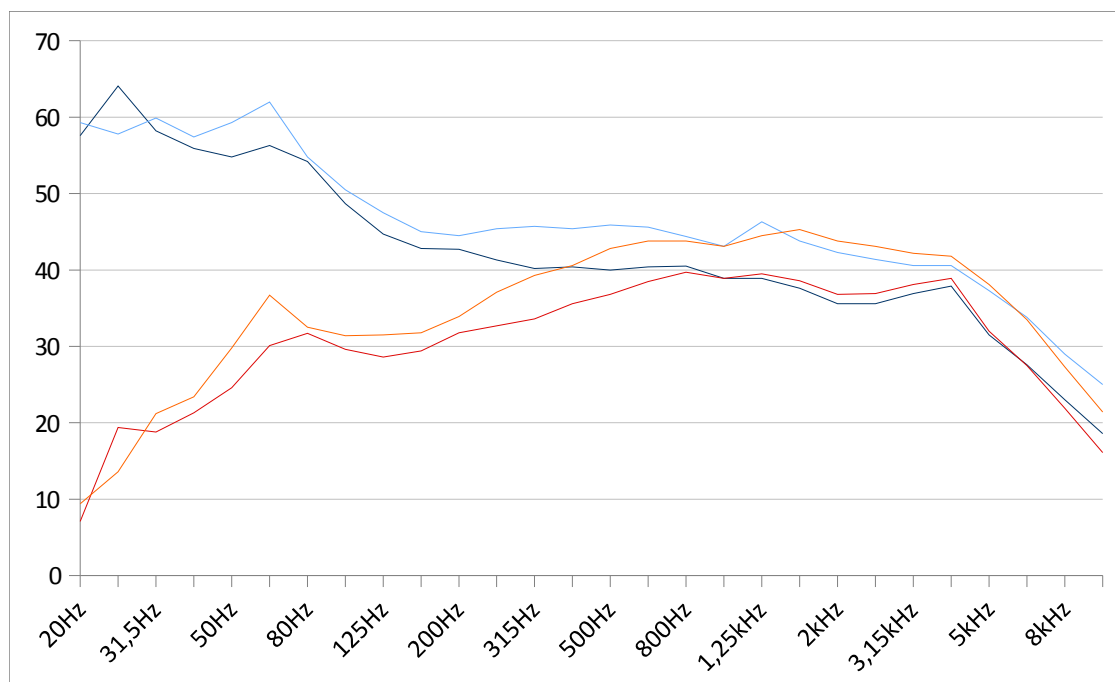
Gráfica 14: Punto de medición 14



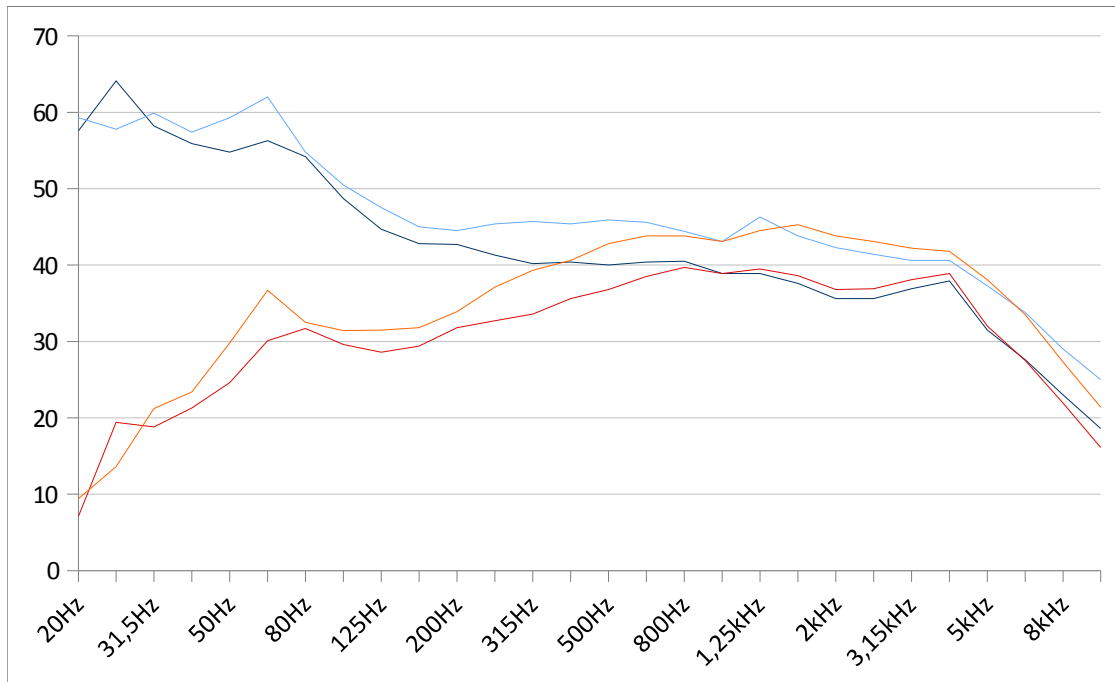
Gráfica 15: Punto de medición 15



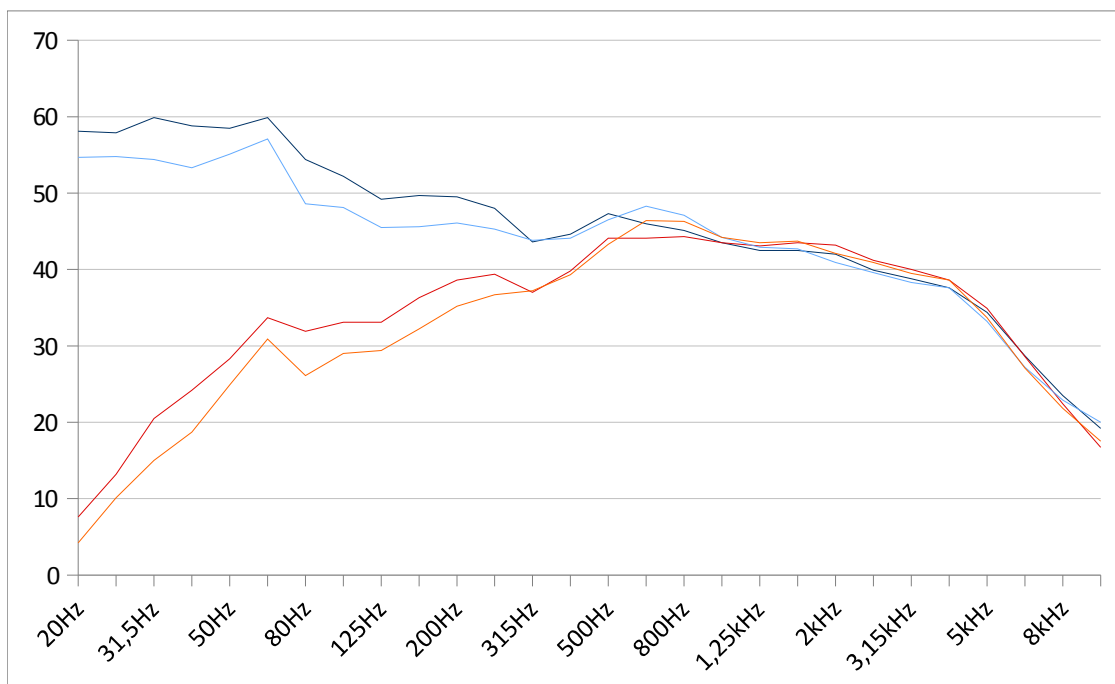
Gráfica 16: Punto de medición 16



Gráfica 17: Punto de medición 17



Gráfica 18: Punto de medición 18



Gráfica 19: Punto de medición 19

10. CONCLUSIONES

10.1. NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICAS OBTENIDOS

10.1.1. Repercusión Laboral

No se superan en ningún momento los valores legalmente establecidos. Por tanto, en la zona del Jardín de los sentidos no se presenta ningún problema de Higiene Laboral.

10.1.2. Repercusión Medio Ambiental.

El límite de 45dB(A) impuesto por la legislación valenciana, Ley 7/2002, es superado en todos los puntos evaluados. Hay puntos que superan 68 dBA. En la zona del Jardín de los Sentidos, tenemos un problema de Contaminación Ambiental por Ruido.

10.1.3. Puntos Singulares

Para detectar singularidades, empleamos las curvas isonivel de presión acústica. Los planos 1 y 2 muestran, mediante dichas curvas (curvas con mismo nivel de presión acústica), los valores obtenidos para los diferentes periodos, mañana y tarde. Las curvas se encuentran separadas 0,5 dB(A)

De dichos planos se obtiene de manera rápida la siguiente información. Curvas muy juntas, indican variaciones bruscas de nivel de presión acústica. De igual manera, curvas muy separadas, indican variaciones leves del nivel de presión acústica.

Por tanto, para el periodo de la mañana, se aprecia que hay 2 puntos con líneas muy juntas. Estos son el 5-6 y el 16.

El punto 16 es el punto más conflictivo desde el punto de vista acústico. Al tratarse de la zona de parada de autobuses, encontramos gran concentración de dichos vehículos lo cual provoca que existan los mayores niveles de presión acústica de la zona.

El punto 5-6 tiene la particularidad de ser una de las 2 cafeterías, pero hay que añadirle el fútbolín, lo que la diferencia significativamente de la otra cafetería situada en el punto 11.

De otro lado, en el punto 11, periodo tarde, se observa que las curvas se encuentran muy separadas. Es debido a la fuente. De estar conectada a no estarlo, la diferencia en cuanto al nivel de presión acústica es significativa.

10.2. VARIACIÓN DE LOS NIVELES DE PRESIÓN ACÚSTICA ENTRE MEDIDAS DE 2013 Y 2015.

Se aprecian ligeras variaciones en cuanto a los niveles de presión acústica obtenida en 2013 y 2015. La gran mayoría de variaciones, unas positivas y otras negativas, no inducen a pensar que haya habido algún hecho que haya provocado dichas variaciones. La gran mayoría de variaciones se encuentran entorno a los $\pm 3\text{dB(A)}$. Esto indica que dichas variaciones no son apreciables por el usuario, dado no es capaz de diferenciar entre los dos niveles acústicos que se diferencian 3dB(A) . Se deberían realizar más mediciones para poder extraer conclusiones que tuvieran una solidez desde el punto de vista estadístico.

10.3. ANÁLISIS DE $\frac{1}{3}$ DE BANDA DE OCTAVA

En las gráficas de la 1 a la 19, se han mostrado los diferentes puntos, con los valores en cada una de las bandas de octava.

Se aprecia un patrón en todas ellas, dado que en su gran mayoría, las fuentes de ruido son las mismas. Dicho patrón se caracteriza por, en las curvas de banda de octava con ponderación A, unos niveles bajos de presión acústica a frecuencias muy bajas y muy altas. Por medio, se encuentran las frecuencias a las que es más sensible el oído humano.

En las curvas no ponderadas, el patrón es similar al siguiente. Alto nivel de presión acústica a frecuencias bajas y bajo nivel de presión acústica a frecuencias altas. Estas curvas son características de los ruidos ambientales de las ciudades, debido al tráfico rodado.

En algunas gráficas se encuentran singularidades en frecuencias concretas. Por ejemplo, en el punto 16. Encontramos picos en 31,5Hz 63Hz, Esto se debe a, por un lado los motores de combustión interna de los autobuses, los cuales giran entorno a 1.800 rpm, lo que implica que su sonido característica se encuentra en unos 30-31,5Hz. La componente de 63Hz está asociada a los motores eléctricos, los cuales giran entorno a los 3.000 rpm. En el punto 16 encontramos estos motores en los aires acondicionados de los autobuses. Concretamente el TRAM. Cuando se encuentra estacionado, el foco principal de emisión se encuentra en los aparatos antes citados.

Por tanto. Es muy recomendable realizar los estudios acústicos, empleando sonómetros que permitan analizar los tercios de bandas de octava. Es la única manera de poder conocer el componente característico de los sonidos. De esta manera podremos plantear medidas correctoras adecuadas.

10.4. PROPUESTA DE MEDIDAS CORRECTORAS

Visto el análisis de $\frac{1}{3}$ de banda de octava, el principal foco de contaminación es el el ruido de rodadura y el de los motores de los vehículos.

10.4.1. Medida correctora para el ruido de rodadura

Por una lado el ruido debido a la rodadura de los vehículos puede ser reducido evitando los empedrados irregulares, baches, etc., por ello es muy importante realizar un mantenimiento preventivo-correctivo adecuado de los mismos

Utilizar pavimentos más porosos permite reducir la emisión secundaria causada por las reflexiones del sonido en la calzada. El uso de pavimentos drenantes absorbentes, además de reducir el ruido de rodadura, también ofrece absorción para el considerado ruido de motor, característico de los núcleos urbanos, estimándose según algunos fabricantes que la reducción con respecto a un pavimento convencional, está en torno a los 3 dB(A).

10.4.2. Medida correctora para el ruido de motores

Se puede reducir el ruido de los motores, tanto los de combustión interna de los autobuses, como los de los equipos de aire acondicionado de los mismos, realizando un buen mantenimiento preventivo. Por otro lado, las diferencias entre los niveles emitidos por un motor de combustión interna de gasoil, y uno de combustión interna de gas natural, son significativos. No digamos entre un motor eléctrico, como los del TRAM.

11. BIBLIOGRAFÍA

11.1. BIBLIOGRAFÍA

- **Llopis Reyna, Ana; Llinares Galiana, Jaime; Sancho Vendrell Fco.** Acústica Arquitectónica y Urbanística. Servicio de Publicaciones UPV. Año 1996, 1ª Edición, 386 páginas.
- **Rejano de la Rosa, Manuel.** Ruido Industrial y Urbano. Thomson-Paraninfo. Año 2000, 1ª Edición, 209 páginas
- **De Cos Juez, Francisco; Castejón Limas, M.** Sonometría y Contaminación Acústica. Servicio Publicaciones Universidad de la Rioja. Año 2001, 1ª Edición, 377 páginas.
- **Mendoza Roca, J; Montañés i San Juan, Teresa; Palomares i Gimeno, E.** Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Servicio de Publicaciones UPV. Año 1998, 1ª Edición, 348 páginas

- **Kielly, G.** Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías sistemas de gestión. Editorial MC Graw Hill, 2ª Edición. Año 2000, 1354 páginas.
- **V.V.A.A.** Guía Metodológica para la Realización de los Estudios Acústicos Requeridos por el Decreto 78/99 de la Comunidad de Madrid. Edita: Comunidad de Madrid Consejería de Medio Ambiente, Servicio de Planificación Hídrica y Atmosférica. Año 1999, 56 páginas

11.2. RECURSOS WEB


- www.agricultura.gva.es. Conselleria de Agricultura Pesca y Alimentación de la Generalitat Valenciana.
- www.cma.gva.es. Conselleria de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente de la Generalitat Valenciana.
- www.magrama.gob.es. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- www.icv.gva.es. Instituto cartográfico Valenciano.
- www.sigpac.mapa.es/fega/visor. SigPAC.
- www.uji.es. Universitat Jaume I.
- www.castello.es. Ayuntamiento de Castellón.
- www.topocal.com. Topocal.
- www.boe.es
- www.docv.gva.es

- ww.dipc.as/bop
- www.infoville.es/Main?
- www.ruidos.org

12. PLANOS



dB		
Menor 35	Verde claro	Light green
35 – 40	Verde	Green
40 – 45	Verde oscuro	Dark green
45 – 50	Amarillo	Yellow
50 – 55	Ocre	Ochre
55 – 60	Naranja	Orange
60 – 65	Cinabrio	CinnaBar
65 – 70	Carmín	Carmin
70 – 75	Rojo lila	Lilac red
75 – 80	Azul	Blue
80 – 85	Azul oscuro	Dark blue

	Título Evaluación de la Calidad Acústica del Jardín de los Sentidos y del Ágora de la Universitat Jaume I de Castellón: Implicaciones Laborales y Medioambientales		
	Promotor	Situación Avenida Vicente Sos Baynat 12080 Castelló de la Plana	
Fecha Julio 2015	Modificado		Escala --
Plano CURVAS ISONIVEL ACUSTICO - Mañana			
Autor del Proyecto: Jorge Juan Gómez Román		Sustituye a —	Plano 1.0
<small>Se reserva la propiedad en términos de la ley de este documento, con prohibición de reproducirlo total, parcialmente o cederlo a terceros sin autorización escrita del Autor</small>			



dB		
Menor 35	Verde claro	Light green
35 – 40	Verde	Green
40 – 45	Verde oscuro	Dark green
45 – 50	Amarillo	Yellow
50 – 55	Ocre	Ochre
55 – 60	Naranja	Orange
60 – 65	Cinabrio	CinnaBar
65 – 70	Carmín	Carmine
70 – 75	Rojo lila	Lilac red
75 – 80	Azul	Blue
80 – 85	Azul oscuro	Dark blue

	Título Evaluación de la Calidad Acústica del Jardín de los Sentidos y del Ágora de la Universitat Jaume I de Castellón: Implicaciones Laborales y Medioambientales		
	Promotor	Situación Avenida Vicente Sos Baynat 12080 Castelló de la Plana	
Fecha Julio 2015	Modificado		Escala --
Plano CURVAS ISONIVEL ACUSTICO - Tarde			
Autor del Proyecto: Jorge Juan Gómez Román		Sustituye a —	Plano 2.0
<small>Se reserva la propiedad en términos de la ley de este documento, con prohibición de reproducirlo total, parcialmente o cederlo a terceros sin autorización escrita del Autor</small>			