

CONDICIONES ACÚSTICAS DE LAS AULAS DE UN CENTRO DE ENSEÑANZA SECUNDARIA: IES SAN SEBASTIÁN, DE HUELVA

R. Sánchez-Sánchez¹, J.C. Fortes Garrido², J.P. Bolivar Raya³

¹Departamento Ingeniería Minera Mecánica y Energética, Research Centre of Natural Resources, Health and the Environment (RENSMA), Universidad de Huelva, Huelva, España {rafael.sanchez@dimme.uhu.es}

² Departamento Ingeniería Minera Mecánica y Energética, Universidad de Huelva, Huelva, España {jcfortes@uhu.es}

³ Integrated Sciences Department, Research Centre of Natural Resources, Health and the Environment (RENSMA), University of Huelva, Huelva, Spain. {bolivar@uhu.es}

Resumen

Las aulas de los centros de enseñanzas son lugares que deben estar adecuados a su finalidad docente en diversos aspectos como pueden ser: el rango de temperatura, la luminosidad, la ergonomía y la calidad acústica, entre otros. Hay estudios que relacionan los altos niveles sonoros existentes dentro de las aulas, las características acústicas arquitectónicas y constructivas inapropiadas, y una situación próxima a fuentes de ruidos, con los bajos rendimientos académicos de los alumnos. El IES San Sebastián, de Huelva se encuentra situado en la confluencia de dos grandes avenidas con elevado nivel de tráfico. Para este estudio se marcó como objetivo el estudio de las aulas de este IES, realizándose medidas de ruido tanto en la fachada, como en los pasillos y dentro de las aulas, obteniéndose que, en el interior de algunas aulas con las ventanas cerradas, existen niveles equivalentes durante el horario lectivo de por la mañana en torno a 60 dBA, en el pasillo se producen hasta 76 dBA y en fachada se superan los 67 dBA. La conclusión principal del trabajo es que en el IES San Sebastián existen aulas que deberían adecuarse acústicamente para poder realizar la labor docente dentro de los niveles mínimos exigibles por la legislación y normativas aplicables.

Palabras-clave: Aulas; ruido ambiental; calidad acústica; tráfico rodado.

Abstract

The classrooms of the teaching centres are places that must be adapted to their teaching purpose in various aspects such as: temperature range, luminosity, ergonomics and acoustic quality, among others. There are studies that relate the high sound levels within the classrooms, inappropriate architectural and constructive acoustic characteristics, and a situation close to noise sources, with the students' low academic performance. The IES San Sebastián, of Huelva is located at the confluence of two large avenues with high level of traffic. For this study, the study of the classrooms of this IES was set as an objective, carrying out noise measurements both on the façade, as well as in the corridors and inside the classrooms, obtaining that, inside some classrooms with closed windows, there are equivalent levels during morning school hours around 60 dBA, up to 76 dBA in the corridor and over 67 dBA on the facade. The main conclusion of the work is that in the IES San Sebastián there are classrooms that should be acoustically adapted to be able to carry out the teaching work within the minimum levels required by the applicable legislation and regulations.

Keywords: Classrooms; ambient noise; acoustic quality; Road Traffic.

PACS no. 43-50.Lj, 43-50.Rq, 43-55 Cs, 43-58 Fm

1 Introducción

El aula, es el espacio físico en el que interactúan los alumnos con el profesor para la facilitación del conocimiento y el aprendizaje. Más del 60% de las actividades en el aula implican que existan conversaciones entre el profesor y los alumnos [1], de donde se deduce la importancia de que el entorno ayude a tener una comunicación clara.

El ruido es un sonido indeseable y no informativo, que tiene varios efectos perjudiciales sobre las funciones humanas. La mala acústica de los espacios exagera aún más el efecto nocivo del ruido, al hacerlo más continuo y no atenuarlo [2]. Esa mala acústica de los espacios, tiene consecuencias tanto para los hablantes, como para los escuchantes [3]. Los principales factores que perjudican la buena comunicación en un aula son el ruido y su mala acústica.

Sin tener en cuenta el ruido de la actividad que se realiza en su interior, la calidad acústica de una sala en general o de un aula en particular, viene determinada fundamentalmente por tres parámetros acústicos básicos, éstos son:

1. Ruido de fondo
2. Aislamiento de los paramentos
3. Reverberación, o acondicionamiento acústico

Básicamente, teniendo controlados estos tres parámetros, se controla la inteligibilidad de la palabra. Aunque existen índices específicos como el Índice de Transmisión del Habla (STI), que da una medida de la eficacia en la comprensión de la voz hablada, y cuantifica el porcentaje del mensaje comprendido correctamente, es decir lo inteligible que es el habla [4]; [5].

1.1 Estado del arte

La OMS en [6] recomienda para los colegios y escuelas, que el nivel de presión del ruido de fondo que no exceda de 35 dB. Por ello en muchos países, se han establecido normas que especifican los niveles de ruido de fondo para las aulas. Por ejemplo, en España el [7] en sus objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas uso educativos o culturales, que establece unos niveles de $L_d = L_e = L_n = 40$ dBA. En EE.UU. a través de [1] se establece un nivel máximo de 35 dBA. En Francia la [8], se establece para el ruido de fondo en las aulas una recomendación de 38 dBA. El Reino unido recomienda 40 dBA [9]. Italia 45 dBA [10]. Finlandia, establece el límite para un nivel de sonido continuo equivalente es 28 dBA [11]. Y en Australia la [12] recomienda para el ruido de fondo en las aulas, de entre 30 y 40 dBA.

En cuanto al aislamiento de los paramentos, para evitar que el ruido externo invada el aula, EE.UU. a través de [1] establece para los muros exteriores un aislamiento acústico mínimo de 50 dBA, mientras que tanto para los paramentos entre aulas, y entre aulas y pasillos establece 45 dBA de aislamiento mínimo.

Finalmente, para el tiempo de reverberación T_{60} (tiempo en segundos que transcurre desde que el nivel de sonido disminuye a 60 dB, después de que la fuente de sonido deja de funcionar). La normativa tiene un alto grado de diversidad en Europa [13]; [14]. Así en Andalucía en [15] para las aulas vacías con volumen inferior a 350 m³, se establece que no será mayor que 0,5 s. En el Reino Unido [9] se requiere un máximo de reverberación de 0.8 s. En Italia [16] igual que la OMS [6] lo establece en 0.6 s, y en Francia [8] se establece para las aulas de volumen inferior de 250 m³ un intervalo de entre 0.4 y 0.8 s. Mientras que en EE.UU. [1] establece un T_{60} máximo de 0.6 o 0.7 segundos, dependiendo de si el volumen del aula es inferior o superior a los 283 m³.

1.2 Problemática

El personal docente del IES San Sebastián de Huelva (IES SS), viene mostrando desde hace tiempo las dificultades acústicas que el edificio ofrece para realizar su trabajo diario con sus alumnos. Obligándoles a elevar la voz para intentar mantener la atención de sus alumnos. Lo cual, en muchos casos, les ha ocasionado problemas de afonía. Este malestar ha sido el principal motivo para la realización del presente estudio.

1.3 Objetivos

El objetivo principal del presente estudio es evaluar la acústica de las aulas del IES SS, analizando los parámetros más importantes de confort acústico: niveles de ruido de fondo, aislamientos acústicos de los paramentos y tiempo de reverberación ($T60$) para compararlos con las recomendaciones que ofrecen tanto las leyes y normativas españolas, como las internacionales más prestigiosas. Todo ello con el propósito de evaluar el nivel de satisfacción de profesores y alumnos del IES SS.

2 Materiales y metodología

2.1 Área de estudio

Para realizar este estudio se seleccionó el IES SS en Huelva. Este centro, fue construido en 1987, sobre una parcela de 7638 m², en la confluencia de la Avda. de Andalucía con la Avda. de Pío XII, frente a la plaza de la conocida fuente de los bomberos. Tal como puede apreciarse en la Fig. 1. Conviene resaltar en esta figura, como el Parque Municipal de Bomberos, situado en la Avda. de Pío XII, queda a escasos 50 m del IES.

Este IES tiene capacidad para algo más de 1000 alumnos, tanto de Educación Secundaria Obligatoria, Bachillerato y Formación Profesional, y contando actualmente con una plantilla de 77 docentes. El edificio principal consta de 14 aulas polivalentes, 7 de Informática, una de Tecnología y otra de Educación Plástica y Audiovisual, además de una biblioteca, un salón de usos múltiples, laboratorios, gimnasio y campo de deportes con diversas pistas polideportivas. Los códigos y ubicaciones de todas estas dependencias se muestran en el plano de la Fig. 2.

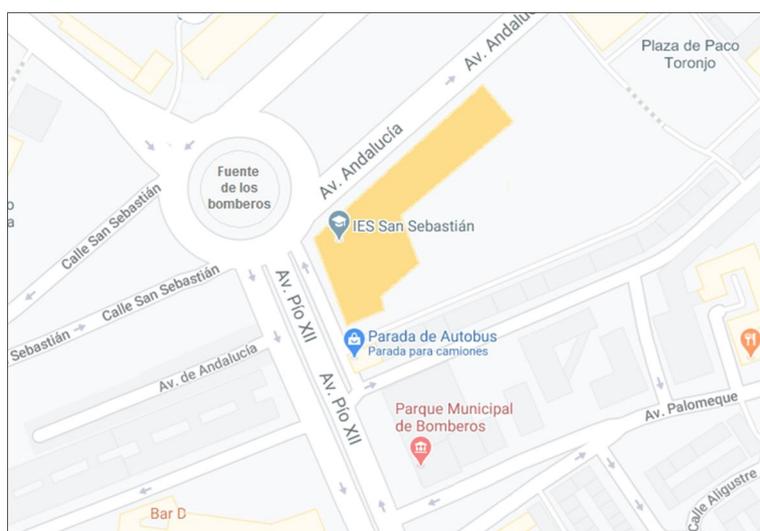


Figura 1 - Área de estudio

De las distintas dependencias del centro, se seleccionó el aula nº 6 (la marcada en amarillo en la Fig. 2), que es la que se encuentra más próxima a la rotonda de la Plaza de la Fuente de los Bomberos. Esta aula tiene unas dimensiones de 9 m de largo x 6 m de ancho x 3 m de alto, y por tanto tiene un volumen total de 162 m³.

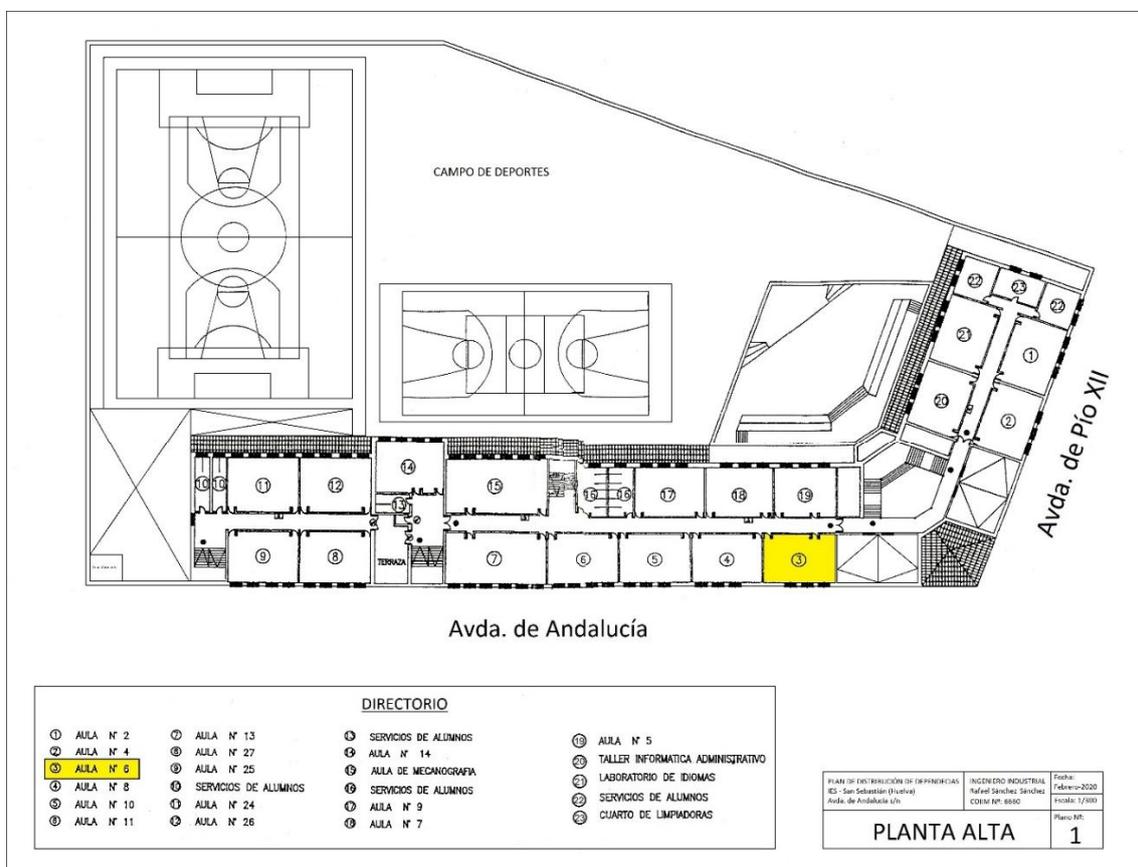


Figura 2 – Plano de ubicación de las dependencias del IES S. Sebastián, en la planta alta

2.2 Metodología

La metodología seguida en este estudio consistió en realizar mediciones continuas y simultáneas de 48 horas dentro del aula seleccionada y desocupada, así como en sus inmediaciones. Para ello se utilizaron tres sonómetros idénticos de la marca RION (modelo NL-31) previamente verificados con el calibrador NC-74 a una presión sonora de 94 dBA, y una frecuencia de 1000 Hz, además de verificados entre sí en el laboratorio. El primero de ellos (S1), se situó en la fachada del Aula nº 6; el segundo (S2), en el techo del pasillo exterior al Aula nº 6; y el tercero (S3) en el centro del Aula nº 6. Tal como puede apreciarse en el esquema de la Fig. 3.

En esa misma figura se muestra cómo el Aula nº 6 dispone de dos puertas de acceso al pasillo; una ventana en alto, entre las dos puertas de acceso, protegida con vidrio sencillo; y tres ventanas, también con vidrios sencillos, que dan a la fachada principal de la Avda. de Andalucía.

El paramento de fachada principal está constituido por fábrica de ladrillo perforado de ½ pie, con un revestimiento continuo por el exterior, con una capa intermedia de material aislante, y con una hoja interior de fábrica de ladrillo hueco de 7 cm de espesor, con un revestimiento de enlucido de yeso de un cm, dando un espesor total de 25 cm. Mientras que los paramentos interiores están constituidos por

ladrillos huecos de 10 cm con revestimientos continuos por ambos lados y alicatados hasta media altura en el lado del pasillo, dando un espesor total de 14 cm.

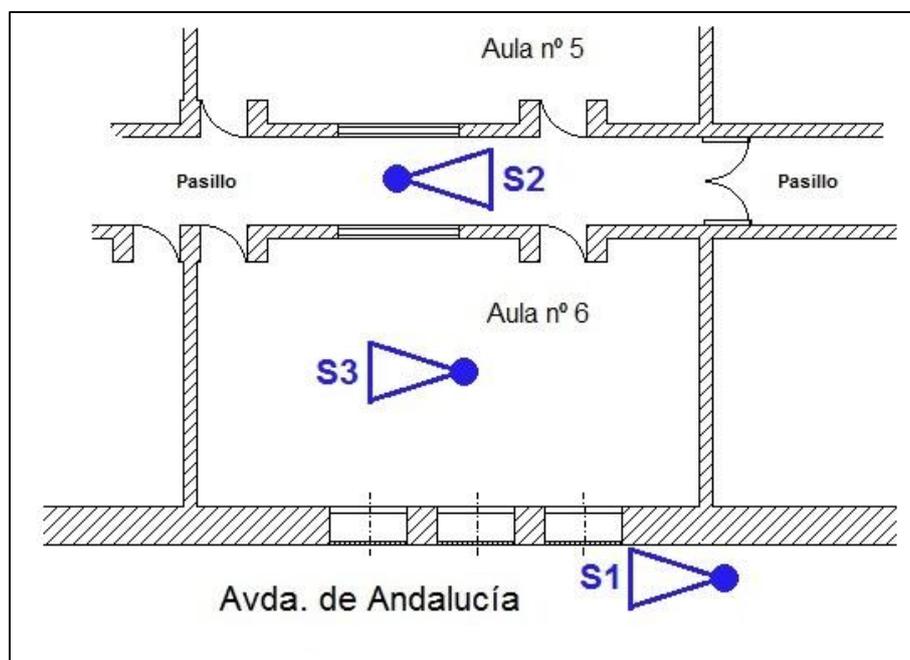


Figura 3 – Plano de disposición de los sonómetros en el Aula nº 6

Las mediciones de larga duración (monitorizaciones de 48 horas), se eligió el modo pre-programado Auto 2 de los sonómetros, efectuándose registros de 10 segundos, recabándose para cada registro los siguientes datos: LAeq,10s, LAE, LAmáx, LAmin, LA08, LA10, LA50, LA90, LA95 y LCpeak. Proporcionando, así mismo, en cada registro: el día, la hora, el minuto y rango de los diez segundos en que se efectúa la medición.

Mientras que el periodo de 48 horas medido y analizado fue desde las 0:00 h del viernes 16-06-2017 a las 0:00 h del domingo 18-06-2017.

3 Resultados y discusión

3.1 Resultados del S1 (fachada del IES SS)

En la Fig. 4, se representan directamente las monitorizaciones completas correspondientes al viernes (a) y al sábado (b), con los valores del nivel continuo equivalente de cada uno de los 8640 registros de 10 s, en cada una de las dos jornadas, que se midieron por el sonómetro (S1) en el exterior del IES, y que estuvieron influenciadas por el tráfico rodado de las vías circundantes.

De su observación se desprende cómo a lo largo de cada una de las dos jornadas, tanto por el día como por la noche, se producen picos muy marcados, que corresponderían a eventos sonoros puntuales que destacarían sobre el resto de los eventos. Debe recordarse que el Parque Municipal de Bomberos queda muy cerca del IES SS, pero también al tratarse de arterias importantes de la ciudad de Huelva, podrían corresponder a ambulancias y/o coches de policía. Destaca también, como cabría esperar, que los mínimos nocturnos del viernes (madrugada del jueves al viernes) son inferiores a los del sábado (madrugada del viernes al sábado), debido a la mayor actividad del ocio nocturno en el comienzo del fin de semana.

Para analizar y poder comparar con más detalle las monitorizaciones entre ambas jornadas, se han generado las gráficas del nivel equivalente de 1 hora, con ponderación A (LAeq, 1h), a lo largo de las mismas, tal como se muestra en la Fig. 5.

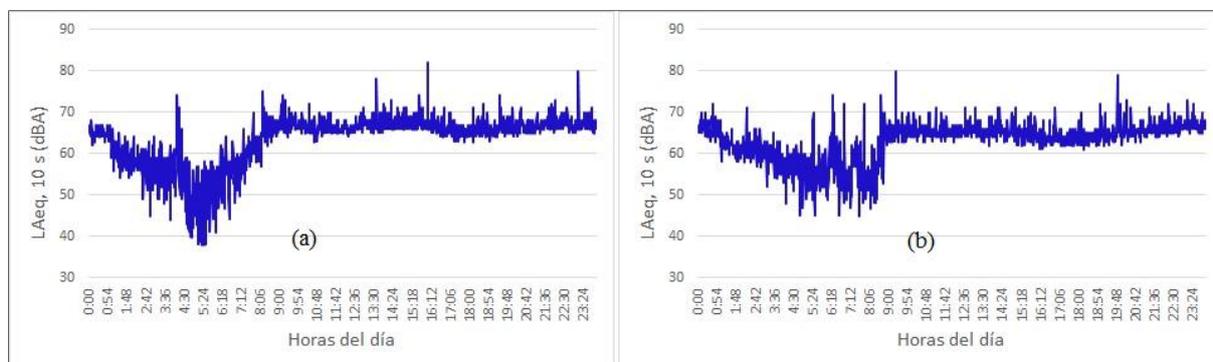


Figura 4 – S1, registro diario de los niveles Leq, 10s: a) viernes, b) sábado

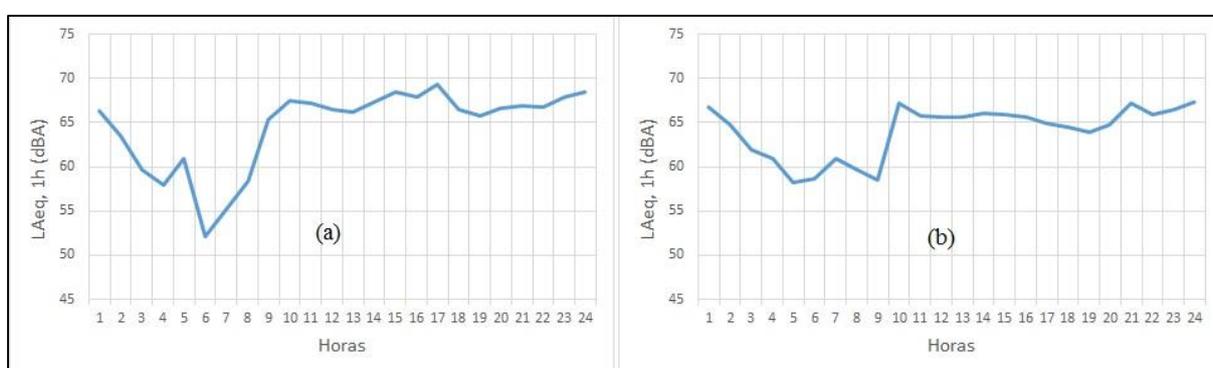


Figura 5 – S1, representación de los niveles LAeq, 1h: a) viernes, b) sábado

En esta última figura, se confirma que, debido al ocio nocturno de la madrugada del viernes al sábado, los niveles del viernes son inferiores a los del sábado. Y como el viernes se produce un valle muy pronunciado a las 6:00 h con 52 dBA, mientras que el sábado es un “plateau” muy condicionado por fuertes eventos sonoros puntuales, dando éste un valor medio de 58 dBA. También se observa como en general, los niveles durante la jornada laboral del viernes, son superiores a los del sábado, en concordancia con la menor actividad laboral que se produce en un fin de semana.

Para analizar las posibles fuentes sonoras que generan el ruido en el exterior del IES SS, se ha creado la gráfica de los diagramas porcentuales de frecuencia, también en cada una de las dos jornadas, tal como se muestra en la Fig. 6.

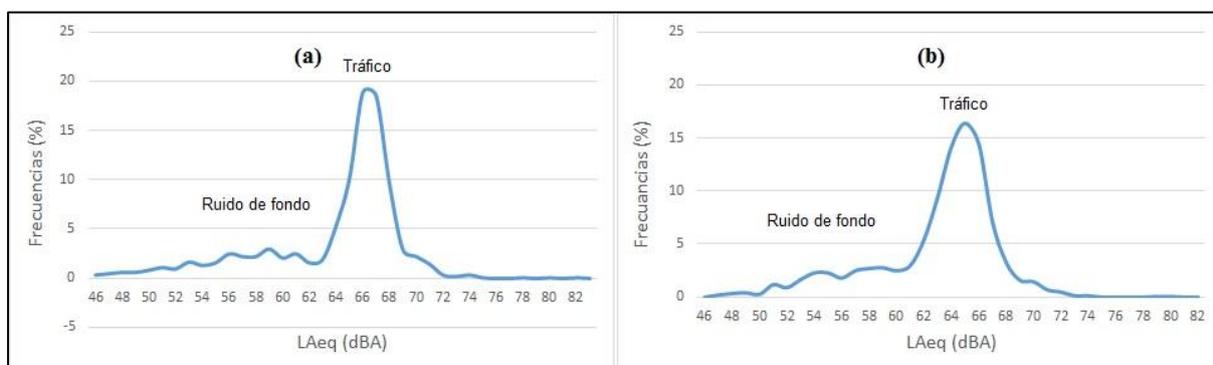


Figura 6 – S1, representación de los diagramas porcentuales de frecuencias: a) viernes, b) sábado

De su análisis se desprende que en ambas jornadas se produce un destacado pico a niveles de 66 dBA con el 19 % el viernes; y 65 dBA con el 17 % el sábado. Estos destacados picos se corresponden con la fuente de ruido del tráfico rodado. Adicionalmente se observa un pico más aplanado y rizado, a niveles de 58 dBA el viernes y 59 dBA el sábado, que se correspondería con el ruido de fondo. El hecho de estar muy rizado es debido a la gran cantidad de eventos y fuentes de ruido puntuales existentes: personas hablando, ladridos de perros, luminarias, semáforos, fuente ornamental de agua, etc. que constituyen ese ruido de fondo tal como se puede observar en las gráficas de la Fig. 4. Finalmente se puede observar un pico, muy solapado al pico principal del tráfico rodado, a niveles de 70 dBA en ambas jornadas, y que correspondería con las fuentes de las sirenas de bomberos, ambulancias, etc.

3.2 Resultados del S2 (techo del pasillo del IES SS)

Igual que en el sonómetro S1, en la Fig. 7 se representan directamente las monitorizaciones completas correspondientes al viernes (a) y al sábado (b), con los valores del nivel continuo equivalente de cada uno de los 8640 registros de 10 s, en cada una de las dos jornadas, y que se midieron, en este caso, por el sonómetro (S2) situado en el techo del pasillo de acceso al Aula nº 6.

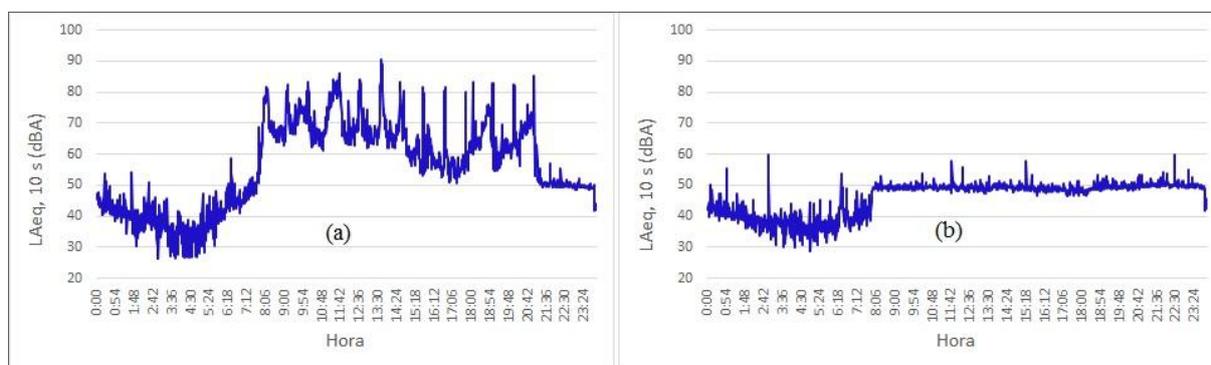


Figura 7 – S2, registro diario de los niveles Leq, 10s: a) viernes, b) sábado

En su análisis se observa de nuevo que los mínimos nocturnos del viernes (madrugada del jueves al viernes) son inferiores a los del sábado (madrugada del viernes al sábado). Teniendo en cuenta que en el interior del IES en horario nocturno no hay ningún tipo de actividad, el ruido que detecta el S2 corresponde al ruido nocturno del exterior que atraviesa sus muros y ventanas. De ahí que tenga el mismo aspecto durante este horario que las gráficas de la Fig.4, pero muchas más atenuado, ya que en la Fig. 4 (a) los mínimos absolutos alcanzaban los 38 dBA y en la Fig. 7 los 26 dBA, y en la Fig. 4 (b) los mínimos absolutos se registraban a 43 dBA y en la Fig. 7 (b) a 29 dBA. Es decir, se produce una atenuación en éstos mínimos absolutos de entre 12 y 14 dBA.

También cabe destacar los pulsos puntuales y sistemáticos que se producen durante los periodos de día y tarde en la Fig. 7 (a), pulsos que alcanzan los 85 dBA de media. Estos pulsos espaciados una hora aproximadamente, corresponden a la sirena interior del IES SS que marca los cambios de clase y los recreos. Es por ello que en la Fig. 7 (b) que corresponde al sábado (día no lectivo), no se producen dichos pulsos, si no prácticamente se convierte en una línea horizontal a la altura de los 50 dBA, con solo pulsaciones esporádicas alrededor de los 58 dBA que se corresponderían con las sirenas de bomberos o ambulancias que atenuadas llegan hasta el interior del pasillo.

De nuevo, para analizar y poder comparar las monitorizaciones entre ambas jornadas, se han generado las gráficas del nivel equivalente de 1 hora, con ponderación A (LAeq, 1h), a lo largo de las mismas, tal como se muestra en la Fig. 8.

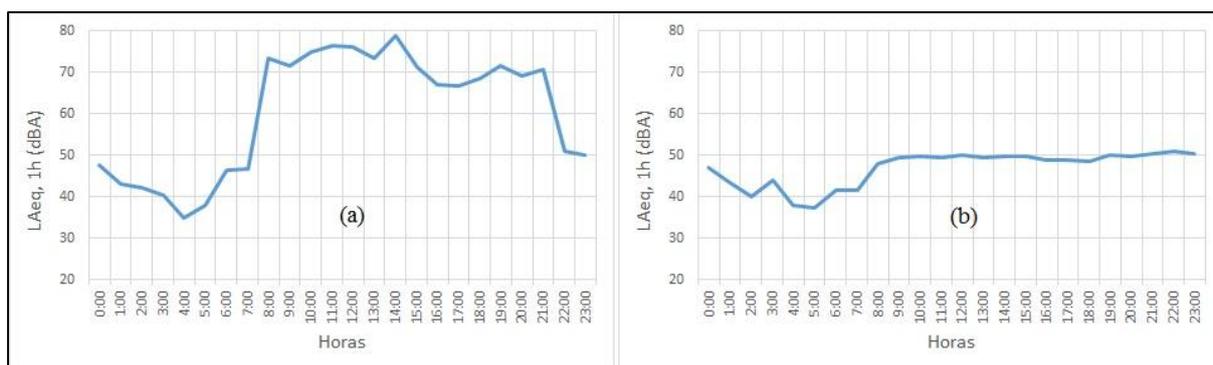


Figura 8 – S2, representación de los niveles LAeq, 1h: a) viernes, b) sábado

En esta última figura, se confirma la disminución, en general, de los niveles nocturnos del viernes frente a los del sábado. Y como el viernes se produce el valle a las 4:00 h, mientras que el sábado se retrasa a las 5:00 h y a mayores niveles. También destaca, durante el día-tarde del viernes unos valores muy superiores a los del sábado, no solo por la mayor actividad interior del IES del viernes frente a la nula del sábado, sino, además, por el ruido de la mayor actividad exterior que atraviesa los muros del IES. Para analizar las posibles fuentes sonoras que generan el ruido en el interior del pasillo del Aula nº 6 del IES SS, se ha creado de nuevo, la gráfica de los diagramas porcentuales de frecuencia, también en cada una de las dos jornadas, tal como se muestra en la Fig. 9.

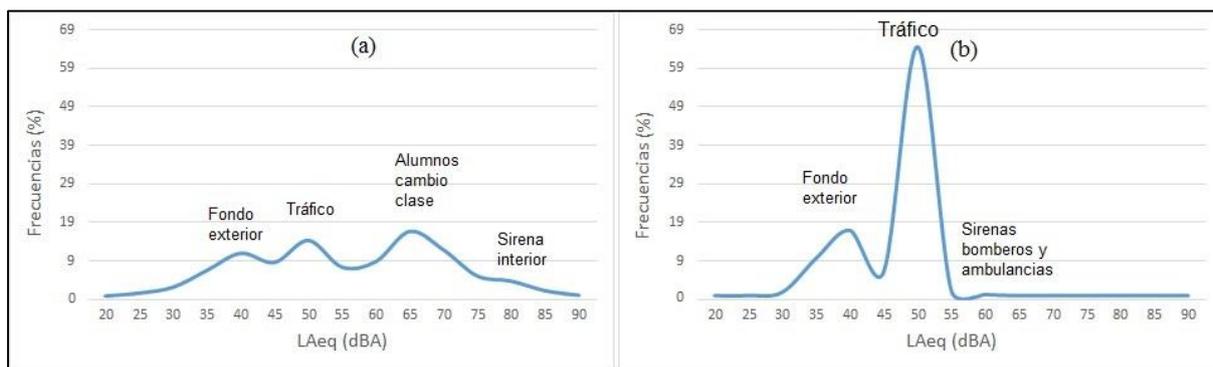


Figura 9 – S2, representación de los diagramas porcentuales de frecuencias: a) viernes, b) sábado

Se observa una gran diferencia entre el diagrama porcentual de frecuencias del viernes y el sábado. En la Fig. 9 (a) hay muchos picos y apenas destaca ninguno de ellos mientras que en la Fig. 9 (b) destaca un pico a los 50 dBA con el 67 % de los eventos sonoros. Este pico mostraría el ruido de fondo diurno del IES cuando no hay actividad, y es debido al ruido exterior del tráfico rodado que se atenúa cuando atraviesa los muros de mismo. También se observa un segundo pico a los 40 dBA, con el 18 % de los eventos sonoros, se corresponde con el ruido de fondo exterior atenuado que atraviesa los muros, puertas y ventanas del IES hasta llegar al S2. Mientras que apenas es perceptible un pequeño abultamiento a los 60 dBA que se correspondería con las sirenas de bomberos y/o ambulancias que atenuadas llegan al S2. Mientras en la Fig. 9 (a) se perciben claramente 4 picos y todos ellos del mismo orden de magnitud. El primero a los 40 dBA corresponde al fondo exterior que penetra atenuado al pasillo del IES. El segundo a niveles de los 50 dBA correspondería con el tráfico rodado que atraviesa los muros de mismo hasta llegar al S2. El tercer pico, algo más destacado, a los 65 dBA correspondería al ruido generado en el pasillo por los alumnos durante los cambios de clase y los recreos. Y por último el cuarto pico, solamente insinuado, a los 80 dBA, y que se correspondería con la sirena interior del IES que marca los cambios de clase.

3.3 Resultados del S3 (interior del Aula nº 6 del IES SS)

De nuevo, pero en este caso con el sonómetro S3 situado en el centro del Aula nº 6, se representan en la Fig. 10 las monitorizaciones completas correspondientes al viernes (a) y al sábado (b), con los valores de sus 8640 registros de niveles continuos equivalentes de 10 s, medidos en cada una de las dos jornadas.

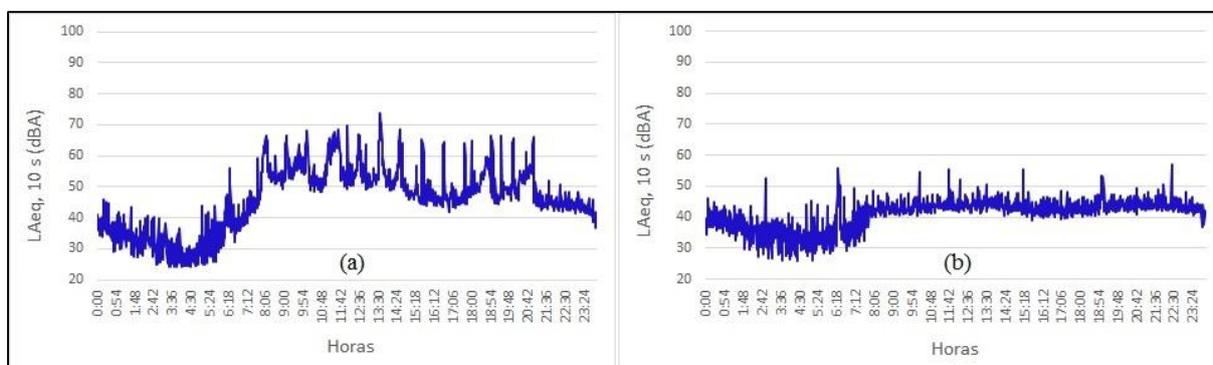


Figura 10 – S3, registro diario de los niveles Leq, 10s: a) viernes, b) sábado

En ella se observa, igual que en las del S1 y S2, que los mínimos nocturnos del viernes (madrugada del jueves al viernes) son inferiores a los del sábado (madrugada del viernes al sábado). Teniendo en cuenta que en el interior del IES en horario nocturno no hay ningún tipo de actividad, el ruido que detecta el S3 corresponde al ruido nocturno del exterior, que atraviesa el muro exterior y ventanas de la fachada del Aula nº 6. Es como consecuencia de ello, que estas gráficas tengan el mismo aspecto, durante este horario, que las gráficas de la Fig.4 y Fig. 7, pero con atenuaciones distintas en función del paramento interpuesto. Así en este caso, si los mínimos absolutos de la Fig. 4 (a) eran de 38 dBA y los de la Fig. 7 (a) de 26 dBA, en la Fig.10 (a) son de 24 dBA. Y si la Fig. 4 (b) eran de 43 dBA y la Fig.7 (b) de 29 dBA, en la Fig. 10 (b) son de 26 dBA.

De nuevo en ella, cabe destacar los pulsos puntuales y sistemáticos que se producen durante los periodos de día y tarde en la Fig. 10 (a), pero en este caso los pulsos alcanzan solo los 70 dBA de media. Estos pulsos corresponden a la sirena interior del IES pero atenuados por el paramento interior que divide el Aula nº 6 del pasillo de acceso a la misma. Por tanto, en la Fig. 10 (b) que corresponde al sábado (día no lectivo), no se producen dichos pulsos, si no prácticamente se convierte en una línea horizontal a la altura de los 43 dBA, con solo pulsaciones esporádicas alrededor de los 56 dBA que se corresponderían con las sirenas de bomberos o ambulancias que atenuadas llegan hasta el interior del Aula nº 6.

Para analizar y poder comparar las monitorizaciones entre ambas jornadas, de nuevo, se han generado las gráficas del nivel equivalente de 1 hora, con ponderación A (LAeq, 1h), a lo largo de las mismas, tal como se muestra en la Fig. 11.

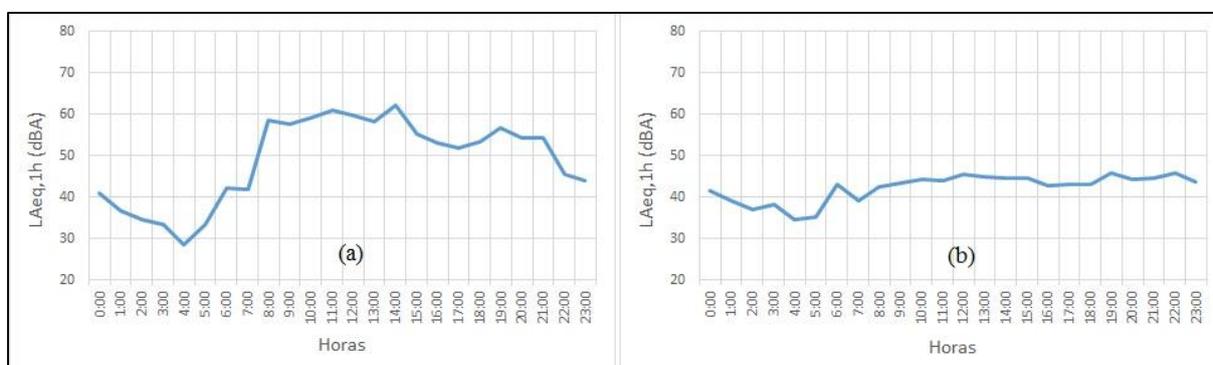


Figura 11 – S3, representación de los niveles LAeq, 1h: a) viernes, b) sábado

En esta última figura, se confirma la disminución observada en la anterior, de los niveles nocturnos del viernes frente a los del sábado. E igual que en la Fig.8 el viernes se produce el valle a las 4:00 h, mientras que el sábado se retrasa a las 5:00 h y a mayores niveles. También destaca, durante el día-tarde del viernes unos valores muy superiores a los del sábado, no solo por la mayor actividad interior del IES del viernes frente a la nula actividad del sábado, sino, por el ruido de la mayor actividad exterior que atraviesa la fachada exterior del Aula nº 6 del IES.

Para analizar las posibles fuentes sonoras que generan el ruido en el interior del Aula nº 6 del IES, se han generado las gráficas de los diagramas porcentuales de frecuencia, para las dos jornadas, tal como se muestra en la Fig. 12.

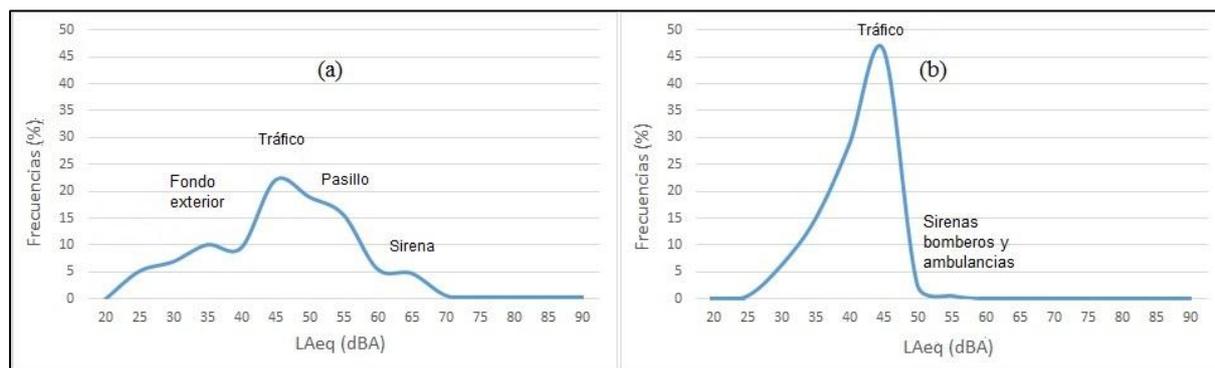


Figura 12 – S3, representación de los diagramas porcentuales de frecuencias: a) viernes, b) sábado

En ella se observa una gran diferencia entre el diagrama porcentual de frecuencias del viernes y el sábado. En la Fig. 12 (a) hay al menos cuatro picos, siendo el más destacado a los 45 dBA que alcanza el 22 % de los registros. Mientras que en la Fig. 12 (b) destaca un único pico, también a los 45 dBA con el 47 % de los registros sonoros. Este pico muestra el ruido de fondo diurno del Aula nº 6 cuando no hay actividad, y es debido al ruido exterior generado por el tráfico rodado que atraviesa el muro y ventanas de la fachada exterior al Aula nº 6. También se observa, un pequeño abultamiento a los 55 dBA que se correspondería con los eventos sonoros puntuales de las sirenas de bomberos, ambulancias y policía, que también consiguen alcanzar el S3, una vez atenuadas por la fachada exterior. Mientras que el fondo exterior que atraviesa los muros del aula, queda enmascarado en la rampa ascendente del pico del tráfico.

Por el contrario, en la Fig. 12 (a) se perciben claramente hasta 4 picos. El primero a los 35 dBA corresponde al ruido de fondo exterior que penetra atenuado en el interior del Aula nº 6. El segundo pico, mucho más destacado, a los 45 dBA correspondería al ruido generado por el tráfico rodado diurno, que igualmente llega atenuado al interior del Aula nº 6 después de atravesar el muro y ventanas de la fachada principal. El tercer pico a los 55 dBA, se corresponde con el ruido de los alumnos en el pasillo, durante los cambios de clase y los recreos, que llega atenuado al S3 después de atravesar el paramento entre el pasillo y el aula. Y por último el cuarto pico, solamente con el 5 % de los registros y a los 65 dBA, se corresponde con el ruido generado por la sirena interior del IES, que llega al S3 atenuado, después de atravesar el paramento existente entre pasillo y Aula nº 6.

3.4 Determinación del ruido de fondo

En el IES SS durante los días lectivos existen dos turnos de clases: el turno de mañana (de 8:30 a. 14:30 horas) y el turno de tarde (de 15:00 a 21:00 horas). De las monitorizaciones realizadas con el S3 en el Aula nº 6, y componiéndolos niveles equivalentes en los horarios de dichos turnos, se pueden obtener los ruidos de fondo tanto en un día lectivo (viernes), como en un día no lectivo (sábado), tal como se muestra en la siguiente Tabla 1.

Tabla 1 con los ruidos de fondo en el Aula nº 6 en dBA

Sonómetro	S3 (Aula nº 6)	
	Viernes	Sábado
RFturno m.	59.9	44.5
RFturno t.	54.4	44.1

Valores que, sobre todo los días lectivos están muy por encima de los 35 dBA recomendados por la OMS para el interior de las aulas escolares [6]. O los 40 dBA de los objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de las aulas de los centros educativos del [7] que desarrolla la Ley 37/2003.

3.5 Determinación de los aislamientos de los paramentos del aula

Una vez obtenidos los principales índices de estas monitorizaciones, y agrupados en la Tabla 2:

Tabla 2 con los principales índices de las tres monitorizaciones en dBA

Sonómetro	S1 (Fachada)		S2 (Pasillo)		S3 (Aula nº 6)	
	Viernes	Sábado	Viernes	Sábado	Viernes	Sábado
LAeq, 24h	66.0	64.8	71.2	48.3	55.5	43.2
L10	68.4	67.2	76.1	50.3	59.9	45.5
L50	66.5	65.6	68.4	49.3	53.3	43.2
L90	57.9	58.6	40.2	42.2	36.8	37.2
Ld	66.9	65.0	73.7	49.0	57.9	43.7
Le	67.1	66.2	69.4	50.3	54.1	45.2
Ln	63.2	63.7	45.1	44.8	39.3	40.2
Lden	70.9	70.6	72.1	52.9	56.8	48.1

Puede determinarse el aislamiento acústico bruto por la diferencia de los niveles de presión acústica, promediados en tiempo y en espacio, entre el recinto emisor y receptor, este se calcula por la siguiente expresión:

$$D = L_{P1} - L_{P2} \quad (1)$$

Teniendo en cuenta que en el sábado las fuentes de ruido están únicamente en el exterior, con un valor global de 64.8 dBA, que se corresponde con LAeq, 24h; un máximo global de 67.2 dBA que se corresponde con el L10; y un mínimo global de 58.6 dBA que se corresponde con el L90. la situación sería tal como se muestra en la Fig. 13 (a).

Del análisis de estos datos del sábado, en S1 de la fachada y el S3 del Aula, se deduce que el aislamiento acústico bruto en la fachada exterior y principal del Aula nº 6 tendría un valor global de:

$D_f = 64.8 - 43.2 = 21.6$ dBA, con un aislamiento acústico máximo (D_{fs}) de 21.7 dBA y un aislamiento mínimo (D_{fi}) de 21.4 dBA.

Valores que están muy por debajo de los 45 dBA mínimo de aislamiento acústico, que deben tener los paramentos de las fachadas exteriores del aula, según las recomendaciones de [1].

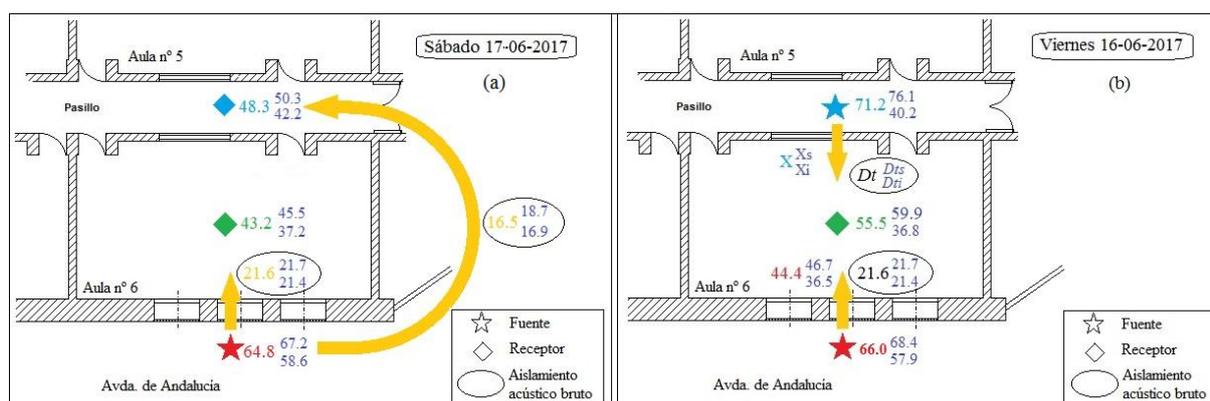


Figura 13 – Situación de fuentes y receptores: (a) el sábado 17-06-2017; (b) viernes 16-06-2017

Igualmente, también se deduce que el aislamiento acústico bruto entre los diversos ventanales y paramentos existentes entre el exterior y el pasillo del Aula nº 6, tienen un valor global de 16.5 dBA, con un máximo de 16.9 dBA y un mínimo de 16.4 dBA.

Por el contrario, el viernes 16-06-2017 al ser un día lectivo, el Aula nº 6, aunque vacía, estuvo sometida a dos fuentes de ruido: la exterior, con un valor global de 66.2 dBA, un máximo de 68.4 dBA y un mínimo de 57.9 dBA; y una fuente interior (pasillo acceso al Aula nº 6) con un valor global de 71.2 dBA, un máximo de 76.1 dBA y un mínimo de 40.2 dBA. También, a través del sonómetro S3 son conocidos los valores en el interior del Aula nº 6: global de 55.5 dBA, máximo de 59.9 dBA y mínimo de 36.8 dBA, valores que estarían participados por una componente de la fuente de ruido exterior y otra componente de la fuente del ruido interior. Todo ello tal como se muestra en la Fig. 13 (b).

Teniendo en cuenta el aislamiento acústico bruto de la fachada exterior, que se dedujo anteriormente, la componente del ruido exterior sería 44.4 dBA con un máximo de 46.7 dBA y un mínimo de 36.5 dBA, mientras que la componente del ruido interior sería desconocida. Para determinarla se supone un valor para la misma de X dBA con un máximo de Xs dBA y un mínimo de Xi dBA, y haciendo los balances de señales no coherentes a través de:

$$L_A + L_B = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_A}{10}} + 10^{\frac{L_B}{10}} \right) \quad (2)$$

$$55.5 = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{44.4}{10}} + 10^{\frac{X}{10}} \right) \text{ de donde } \rightarrow X = 55.1 \text{ dBA}$$

$$59.9 = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{46.7}{10}} + 10^{\frac{X_s}{10}} \right) \text{ de donde } \rightarrow X_s = 55.3 \text{ dBA}$$

$$36.8 = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{36.5}{10}} + 10^{\frac{X_i}{10}} \right) \text{ de donde } \rightarrow X_i = 25.4 \text{ dBA}$$

Por otro lado, teniendo en cuenta los valores globales, máximo y mínimo de la fuente interna, se pueden determinar el aislamiento acústico bruto del paramento que divide al Aula nº 6 del pasillo, que quedaría:

$$Dt = 71.2 - 55.1 = 16.1 \text{ dBA}$$

$$Dts = 76.1 - 55.3 = 20.8 \text{ dBA}$$

$$Dti = 40.2 - 25.4 = 14.8 \text{ dBA}$$

Valor que está muy por debajo de los 45 dBA mínimo de aislamiento acústico, que deben tener los paramentos del aula colindantes con pasillos, según las recomendaciones de [1].

3.6 Determinación del tiempo de reverberación (T_{60})

El tiempo de reverberación del Aula nº 6 (T) se determina a través de la fórmula de Sabine [17], cuya expresión en segundos es:

$$T_{60} = \frac{0.16 \cdot V}{A} \quad (3)$$

Siendo:

V : volumen del recinto, [m³]

A : absorción acústica total del recinto, [m²]

La absorción acústica, A , se calculará a partir de la expresión:

$$A = \sum_{i=1}^n \alpha_{m,i} \cdot S_i + \sum_{j=1}^n A_{O,m,j} + 4 \cdot \overline{m_m} \cdot V$$

En este caso: $V = 162 \text{ m}^3$, y $A = 35.01 \text{ m}^2$

Por lo que, para una banda de frecuencias medias (0.5–2 kHz), se tiene que:

$$T_{60} = \frac{0.16 \cdot 162}{35.01} = 0.74 \text{ s}$$

Valor que satisface las recomendaciones de la OMS al estar por debajo de los 1s (máximo recomendado para las aulas por la OMS) [6]. Está próximo a la recomendación de: $0,8 \leq T_{60} \leq 1,5$ de [18], y por encima de los 0.6 s recomendado por [1] para las aulas con volúmenes inferiores a 283 m³.

4 Conclusión

Del análisis de los resultados y discusiones, se deduce:

1. El nivel LAeq, 24h en la fachada exterior del IES en una jornada lectiva es de 66 dBA.
2. El ruido de fondo en el interior de un aula del IES en una jornada lectiva es de 55.5 dBA.
3. El aislamiento acústico de la fachada externa del IES adopta un valor de 21.6 dBA.
4. El aislamiento acústico de los paramentos interiores del aula, adoptan un valor de 16.1 dBA.
5. El tiempo de reverberación T_{60} de un aula del IES es de 0.74 s.

Estos resultados muestran claramente que las aulas del IES SS no están bien acondicionadas para su cometido docente, no tanto por la absorción acústica de sus paramentos, sino por los bajos aislamientos de los mismos, tanto los exteriores como los interiores. Dando como consecuencia que los ruidos de fondo estén muy por encima de las recomendaciones exigidas tanto por la legislación y normativa nacional, e internacional. Todo ello hace que la inteligibilidad de la palabra quede muy comprometida en las aulas de este centro, y con ello toda la labor docente de los profesores.

Para mejorar esta inteligibilidad, se haría imprescindible acometer obras de mejora, sobre todo del aislamiento acústico de todos sus paramentos, Y si es posible anular las ventanas elevadas existentes entre las aulas y los pasillos.

Agradecimientos

Agradecemos a los profesores del IES SS, por facilitarnos el acceso a las distintas dependencias del centro para la colocación de los equipos de medición, especialmente a la profesora Dña. Encarnación Puente Rodero.

Bibliografía

- [1] ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1, “American National Standard Acoustical Performance Criteria, Design Requirements, and Guidelines for Schools, Part 1: Permanent Schools,” American National Standards Institute, Melville, NY, 2010.
- [2] E. Sala, V. Vilianen and J. Honka, “Improvement of acoustic conditions for speech communication in classrooms,” *Applied Acoustics*, vol. 45, pp. 81-91, 1995.
- [3] E. Sala and L. Rentala, “Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland,” no. 114, pp. 252-259, 2016.
- [4] T. Houtgast, H. Steeneken and R. Plomp, “Predicting speech intelligibility in rooms from the modulation transfer function. I. General room acoustics,” *Acustica*, vol. 46, p. 60–72, 1980.
- [5] A. Astolfi and F. Pellerey, “Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms,” *Journal of the Acoustical Society of America*, vol. 123, pp. 163-173, 2008.
- [6] World Health Organization, “Guidelines for community noise,” (WHO), London, 1999.
- [7] Real Decreto 1367/2007, «de 19 Octubre, que desarrollala Ley 37/2003 de 17 de Noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas,» 2007.
- [8] NOR: DEVP0320066A, Arrêté du 25 avril, «relatif à la limitation du bruit dans les établissements d'enseignement,» JOURNAL OFFICIEL DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE, 2003.
- [9] Building Bulletin, BB9, “Acoustic design in schools: Performance standards, Department for Education and the Educational Funding Agency,” 2015.
- [10] Ministerial Decree 30 March, “Disposizioni per il contenimento e la prevenzione dell'inquinamento acustico derivante dal traffico veicolare (in Italian) (Rules for the control and prevention of noise pollution resulting from road traffic),” 2004.
- [11] SFS 5907, “Acoustic classification of spaces of buildings,” Finnish Standards Association, 2004.
- [12] Association of Australasian Acoustical Consultants, “Guideline for Educational Facilities Acoustics, V 1.0,” 2010.
- [13] D. Pelegrin-Garcia, J. Brunskog and B. Rasmussen, “Speaker-oriented classroom acoustics design guidelines in the context of current regulations in European countries,” *Acta Acustica United Acustica*, vol. 100, p. 1073–1089., 2014.
- [14] G. Puglisi, A. Astolfi, C. L. Cantor and A.-. Carullo, “Four-day-follow-up study on the voice monitoring of primary school teachers: Relationships with conversational task and classroom acoustics,” *Journal of the Acoustical Society of America*, no. 141, pp. 441-452, 2017.
- [15] Decreto 6/2012 de Junta de Andalucía, “de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía,” BOJA, 2012.
- [16] UNI 11367, 2010.
- [17] H. J. Sabine, «Capítulo 18: Materiales acústicos,» de *Manual para el control del ruido*, 1 ed., vol. 1, Madrid, Instituto de Estudios de la Administración Local, 1977.
- [18] Inst. Nal. de Seg. e Higiene en el Trabajo, “NTP 503: Confort acústico: el ruido en oficinas,” Madrid, 1998.