



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Facultad de Ciencias Experimentales

Trabajo Fin de Grado

Evaluación acústica en el campus universitario

Alumno: RAMÍREZ TORRES, CRISTIAN

Febrero, 2015

Índice

1. RESUMEN.....	Pág. 3
2. ABSTRACT.....	Pág. 3
3. INTRODUCCIÓN.....	Pág. 3-7
3.1 Acústica de salas	
4. OBJETIVOS.....	Pág. 7
5. MATERIAL Y MÉTODO.....	Pág. 8-14
5.1 Metodología	
5.2 Descripción de la sala a medir	
5.3 Equipo de medida	
6. ANÁLISIS Y DISCURSIÓN DE RESULTADOS.....	Pág. 14-38
6.1 Evolución en una hora	
6.2 Evolución en una semana	
6.3 Evolución a lo largo de un día	
6.4 Diferencia entre las plantas	
6.5 Tiempo de reverberación y posibles soluciones	
7. CONCLUSIONES.....	Pág. 38
8. BIBLIOGRAFÍA.....	Pág. 39-40

1. RESUMEN

En este proyecto se evalúa acústicamente uno de los aularios del campus de Las Lagunillas, concretamente el B4. El principal objetivo es estudiar la influencia que el ruido procedente del hall del edificio tiene sobre el interior de un aula. Para ello se han medido distintos descriptores acústicos (nivel equivalente y diferentes percentiles) tanto dentro como fuera de un aula vacía, y se ha estudiado su evolución a lo largo de una hora completa. También se ha estudiado la influencia de la franja horaria, del día de la semana, así como de la planta en la que se encuentra el aula vacía. Finalmente, analizando el tiempo de reverberación se han propuesto soluciones para disminuir el ruido en el interior del aula.

Palabras clave: nivel equivalente, percentiles, tiempo de reverberación, ruido.

2. ABSTRACT

In this project, the acoustic of one of the classrooms of the campus of Las Lagunillas has been evaluated. The main objective of this work is to study the influence that the noise originated in the hall of the building has on the inside of a typical classroom. We have measured different acoustic descriptors (equivalent level and different percentiles) both inside and outside of an empty classroom, and we have studied their evolution over a full hour. We have also studied the influence of the hour interval, the day of the week, and the level where the classroom is empty. Finally, analyzing the reverberation time, we have proposed solutions to reduce the noise inside the classroom.

Keywords: equivalent level, percentiles, reverberation time, noise.

3. INTRODUCCIÓN

La capacidad de escuchar y entender lo que se dice en un aula es imprescindible para garantizar un correcto aprendizaje. Una mala acústica puede producirse por un aislamiento o acondicionamiento acústico no adecuados, por ejemplo, debido a un elevado nivel de ruido de fondo o a que las condiciones arquitectónicas del recinto hagan que el tiempo de

reverberación sea demasiado elevado y se crean problemas de atención en el alumnado, especialmente si tienen audición reducida, o algún tipo de trastorno o estudian en una segunda lengua [1].

Según la RAE (Real Academia Española) la acústica es: “Parte de la física que trata de la producción, control, transmisión, recepción y audición de los sonidos, y también, por extensión de los ultrasonidos.” [2]. Y según el artículo 50 inciso 2 de la Ley 7/2007, de 9 de Julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental, la contaminación acústica “es la presencia en el aire ambiente de ruidos o vibraciones, cualquiera que sea el emisor acústico que los origine, que impliquen molestia, riesgo o daño para las personas, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza, o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente.” [3].

El ruido es definido como un sonido no deseado según distintas fuentes y puede generar efectos no deseados en el organismo [4]. El ruido produce una serie de efectos positivos y negativos sobre el rendimiento, el efecto depende crucialmente del tipo de ruido y de las exigencias de la tarea. Si el ruido es esperado y familiar, es improbable que produzca ningún deterioro del rendimiento (Harris, 1998).

En muchos de los recintos que habitualmente utilizamos es necesario un acondicionamiento acústico adecuado para su uso. Las universidades no están exentas de esta problemática y así, a pesar de que claramente la comunicación verbal es el principal factor en el uso de estos lugares, en muchas ocasiones el diseño del edificio o de las aulas no se encuentra adaptado para ella [6].

3.1 Acústica de salas:

Los fenómenos que afectan a la propagación del ruido son:

Absorción (A): Es la magnitud que cuantifica la energía extraída del campo acústico, cuando la onda atraviesa un medio determinado, o el choque de la misma con las superficies límites del recinto. Su valor varía entre 0 (toda la energía se refleja) y 1 (toda la energía es absorbida).

$$A = \alpha S \text{ (m}^2\text{)}$$

Siendo A la absorción total del recinto, α es el coeficiente de absorción acústica del material y S es el área total de las superficies en m². (Recuero López, 1999)

Reflexión: Fenómeno por el cual una onda se refleja en un material no absorbente o parcialmente absorbente del sonido. Se denomina onda reflejada a la onda que se propaga en el mismo medio que la onda incidente, de modo que la proyección de la velocidad de propagación sobre la normal a la superficie es de sentido contrario a la correspondiente del incidente. (Llinares y cols, 1996).

Refracción: Cuando un sonido pasa de un medio a otro, se produce refracción. La desviación de la onda se relaciona con la rapidez de propagación en el medio. Por ejemplo, el sonido se propaga más rápidamente en el aire caliente que en el aire frío.

Difusión: Si la superficie donde se produce la reflexión presenta alguna rugosidad, la onda reflejada no sólo sigue una dirección sino que se descompone en múltiples ondas.

Difracción o dispersión: Si el sonido encuentra un obstáculo en su dirección de propagación, en el borde del obstáculo se produce el fenómeno de difracción, por el que una parte del sonido sufre un cambio de dirección y puede seguir propagándose.

Estos son los fenómenos que afectan a la propagación del ruido, y aunque en este proyecto no hemos calculado ninguno de ellos es importante conocerlos porque, por ejemplo, para realizar las medidas hay que saber donde colocar el aparato de medida para que ninguno de estos fenómenos alteren los resultados.

Los parámetros que sí se han calculado para alcanzar los objetivos han sido: el nivel equivalente (L_{eq}), los niveles estadísticos L_5 , L_{50} , L_{95} y, por último, el tiempo de reverberación (T_{60}).

- L_{eq} : se define como la media energética del nivel de ruido promediado en el intervalo de tiempo de medida. Puede considerarse como el nivel de un sonido, constante en todo el período de medida T , que tuviese la misma energía acústica que el sonido que se está valorando. Este parámetro se ha calculado para saber si las aulas cumplen la normativa.

$$L_{eq} = 10 \log 1/T \sum t_i \cdot 10^{L_i/10}$$

Siendo T el tiempo total de medida en segundos, t_i es el tiempo entre cada medida, y L_i es el nivel de presión sonora de cada medida realizada.

- **Nivel porcentual L_5 , L_{50} , L_{95}** : nivel de presión sonora (en dBA) que se sobrepasa durante el 5%, 50%, 95% del tiempo.

L_5 : Es el percentil 95 de la distribución, es decir, el 95% de los datos están por debajo de esa cantidad. Representa el nivel máximo o de pico.

L_{50} : Es el percentil 50 de la distribución, es decir, el 50% de los datos están por debajo de esa cantidad.

L_{95} : Es el percentil 5, el 5% de los datos están por debajo de esa cantidad. Representa el nivel de fondo

- T_{60} : el tiempo necesario para que la intensidad de un sonido disminuya a la millonésima parte de su valor inicial o, lo que es lo mismo, que el nivel de intensidad acústica disminuya 60 decibelios por debajo del valor inicial del sonido.

El tiempo de reverberación se ha utilizado para saber si se puede solucionar el exceso de ruido dentro del aula en el caso de que sea necesario, ya que disminuye al aumentar la absorción del local.

$$T_{60} = 0,16V / A$$

Siendo 0,16 el valor de una constante para una temperatura de 20°C, V es el volumen en m³ del recinto y A es la absorción total en m² (Recuero López, 1999).

4. OBJETIVOS

Los objetivos del proyecto son:

- Conocer si las aulas donde se han realizado las medidas cumplen la normativa vigente de ruido.
- Saber si los niveles sonoros obtenidos fuera del aula son directamente proporcionales a los medidos dentro del aula, es decir, saber si repercute el ruido de fuera del aula, dentro de la misma.
- Proponer soluciones en caso de que en dichas aulas no se cumpla la normativa vigente (DECRETO 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía).

Objetivos de calidad acústica para ruidos aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales y administrativos o de oficinas (en dBA)

Uso del local	Tipo de recinto	Índices de ruido		
		L_n	L_a	$L_{n,a}$
Residencial	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Administrativo y de oficinas	Despachos profesionales	40	40	40
	Oficinas	45	45	45
Sanitario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

Figura1. Índices de ruido [9].

5. MATERIAL Y MÉTODO

En este apartado hablaremos de la metodología, es decir, como se ha realizado este proyecto y además comentaremos en que aulas se ha realizado las distintas medidas y por último, el material que hemos utilizado para obtener dichas medidas.

5.1 Metodología

Este trabajo ha consistido, en realizar un estudio acústico del edificio B4 midiendo el nivel de presión sonora en distintos días y a distintas horas, tanto dentro de un aula como fuera de ella (en el Hall).

Las medidas realizadas han sido las siguientes:

- a) tres medidas de una hora completa en las diferentes plantas, es decir, en la planta baja se ha realizado una medida de una hora, en la primera planta otra y en la última la tercera medida. Todas ellas a la misma hora y el mismo día de la semana para poder comparar las distintas plantas.
- b) A continuación se realizó medidas durante un día completo: en cada hora se medían 5 o 10 minutos para conocer como influye el cambio de clase y el trasiego de alumnos dentro del aula a lo largo de un día completo.
- c) Por último, medimos durante una semana a la misma hora para averiguar como cambia el ruido con respecto a los días de la semana.

A partir de las medidas de nivel de presión instantáneo se calcularon con una hoja de cálculo los valores de L_{eq} y los distintos percentiles.

5.2 Descripción de la sala a medir

Se han estudiado un total de 3 aulas diferentes con su parte exterior correspondiente, ya que el edificio donde hemos realizado las medidas tiene tres plantas. En la planta baja hemos realizado casi todas las medidas porque hemos considerado que es la planta mas representativa, ya que es la más transitada y a continuación, hemos realizado una medida en la primera planta y otra en la segunda (medidas de una hora).

En la planta baja, el aula elegida ha sido la 5 porque ha sido la más accesible para poder realizar las medidas.



Figura2. Plano del campus universitario [10]

En este plano de la universidad de Jaén, se puede observar donde se localiza el edificio B4 (rodeado con un cuadrado) donde se ha realizado el proyecto.

Como se puede observar en la figura 1, se encuentra entre el edificio B3 y B5 aunque entre el B4 y estos edificios hay una serie de calles, es decir, que no se encuentran unidos entre sí.

A continuación en las figuras 2-7 veremos cómo son las clases y los exteriores donde hemos realizado las medidas. Además, en cada imagen se observa donde se ha colocado el aparato de medida, ya que debe estar alejado de cualquier elemento que pueda reflejar el sonido porque las medidas se podrían ver alteradas al recibir el aparato el sonido directo y el reflejado.

También es necesario comentar que la elección de las clases ha sido aleatoria debido a que se necesitaban aulas vacías y al realizar las medidas durante el periodo lectivo ha habido alguna dificultad para poder realizar las medidas, es decir, que no se ha realizado ningún estudio previo para elegir las aulas.



Figura 3. Aula 5 edificio B4



Figura 4. Planta baja del edificio B4



Figura 5. Aula E1 edificio B4



Figura 6. Primera planta edificio B4



Figura 7. Aula 27 edificio B4



Figura 8. Segunda planta edificio B4

5.3 Equipos de medida

Para realizar este proyecto se ha utilizado dos sonómetros y dos trípodes, ya que hemos tenido que medir simultáneamente tanto fuera como dentro del aula.

El sonómetro utilizado ha sido el PCE-322A (PCE Group, Alemania) que es de tipo II. Es un sonómetro de tipo general que nos permite conocer el L_p instantáneo.



Encender
y Apagar

Ponderación
(A/C)

Fast/ slow

Nivel

Grabar y
almacenar
información

Figura9. Sonómetro



Figura10. Sonómetro y trípode

Para nuestras medidas el funcionamiento de nuestro aparato sería:

- Encender el aparato
- Poner la ponderación A
- Colocar en Fast
- Poner como nivel mínimo 30 y máximo 130 dBA

- Y por último, darle a grabar

También decir que los trípodes aparte de ser necesarios porque hemos tenido que medir en dos lugares a la vez, es porque deben estar los sonómetros a una cierta altura y no deben estar rodeado de ningún material (paredes, puertas,...) porque queremos medir el ruido directo y no el directo más el reflejado.

Para concluir, los datos brutos almacenados en el sonómetro se volcarán posteriormente en un ordenador para proceder a su análisis y a la obtención de los descriptores acústicos más usuales: L_{eq} y distintos percentiles.

6. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado hablaremos sobre las distintas medidas que se han realizado.

6.1 Evolución 1 hora

Lunes 17 Marzo, 10:30-11:30 (Aula 27, B4)

En la figura 11, se representa el L_p (nivel de presión sonora) con ponderación A en función del tiempo.

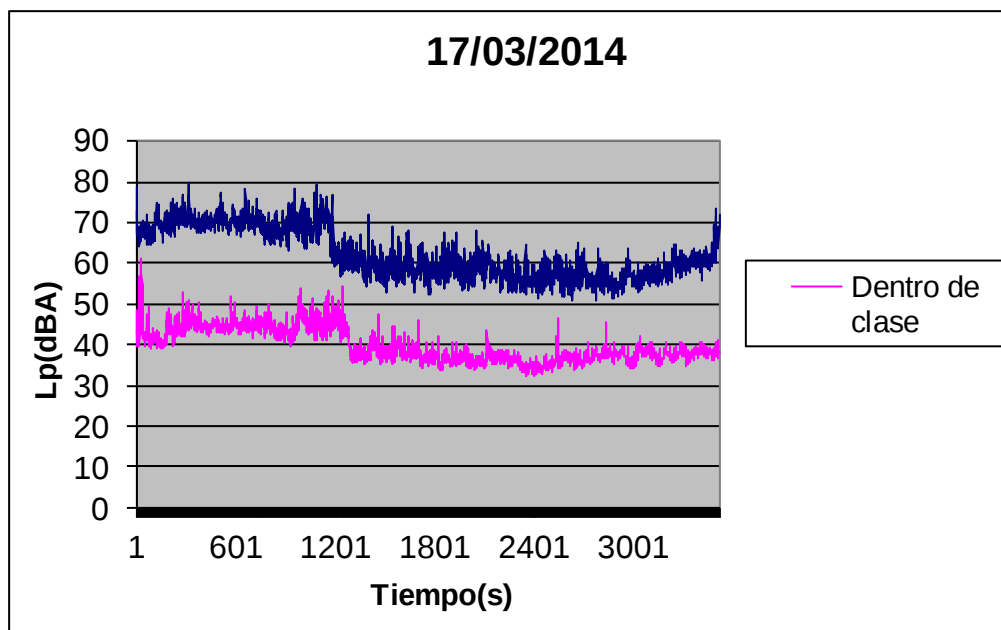


Figura11. Representación gráfica del L_p en función del tiempo del lunes 17 de Marzo.

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	<i>66,5 dBA</i>	<i>42,2 dBA</i>
L₅	<i>72,1 dBA</i>	<i>47 dBA</i>
L₅₀	<i>60,4 dBA</i>	<i>38,4 dBA</i>
L₉₅	<i>54 dBA</i>	<i>34,7 dBA</i>

Tabla1. Resumen de los datos del día 17 de Marzo.

Esta gráfica es particularmente interesante porque se pueden observar dos zonas diferentes: una cuando se producen los cambios de clase en la que aumentan los niveles sonoros tanto fuera como dentro del aula. Y la otra cuando todos los alumnos se encuentran dentro de las clases, ya que se observa una bajada brusca del nivel de presión. Al final de esa zona comienza de nuevo a subir coincidiendo con un nuevo cambio de clase.

También comentar, como el ruido que se genera fuera del aula (por los pasillos) repercute de forma directa al interior del aula. Y por ello, hay que actuar sobre el ruido que se genera fuera de la clase para poder paliar los niveles dentro del aula.

En los cálculos realizados, nos da como nivel equivalente en el interior del aula 42,2 dBA y según el Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía los decibelios permitidos en el interior del aula son de 40 dBA, por lo tanto, este aula no estaría cumpliendo la normativa más adelante volveremos sobre este caso.

Lunes 17 Marzo, 10:30-10:52 aproximadamente. (Aula 27, B4)

En la figura 12, se representa la primera zona obtenida en la figura 10, para poder explicarla de mejor manera.

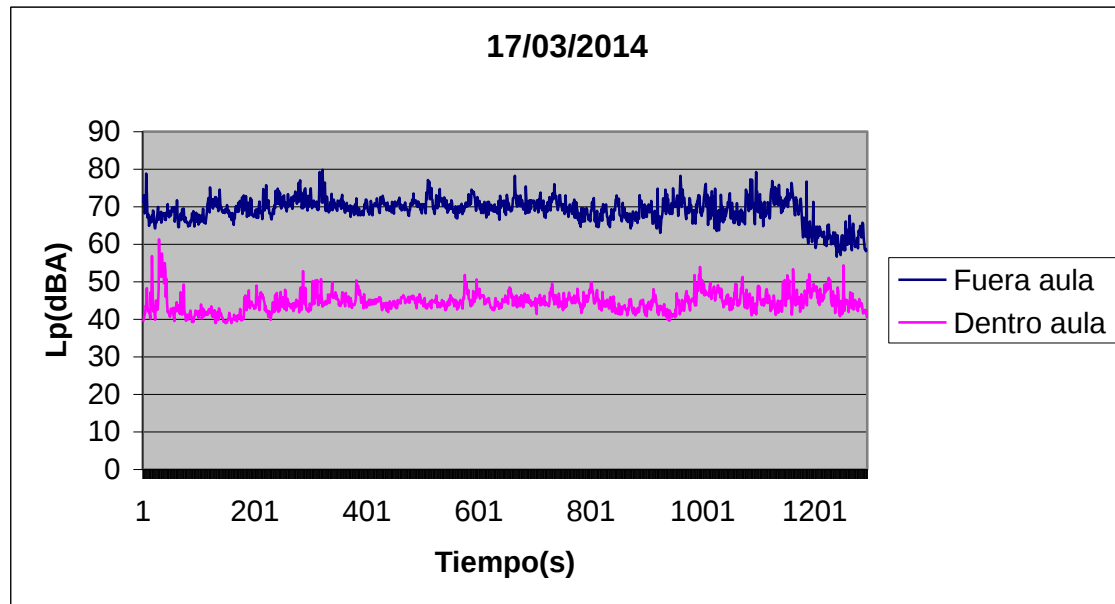


Figura12. Primera zona de la figura 10.

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	70,2 dBA	45,5 dBA
L₅	73,8 dBA	49 dBA
L₅₀	69,4 dBA	44,5 dBA
L₉₅	62,3 dBA	40,7 dBA

Tabla2. Datos de la primera zona del día 17 de Marzo

Como se ha dicho anteriormente, hay dos zonas en la figura 11 por ello hemos realizado dos representaciones más con cada una de esos intervalos para poder analizarlos de forma adecuada (figuras 12 y 13).

Al volver a realizar los cálculos se puede observar (mirando los percentiles) como más del 95% de las medidas obtenidas en este intervalo superan los 40dBA exigidos por la normativa anteriormente mencionada. Y esto quiere decir que no hay materiales suficientemente absorbentes fuera del aula para que el ruido que se genera no se introduzca en el aula.

Lunes 17 Marzo, 10:52-11:30 aproximadamente. (Aula 27, B4)

En la figura 12, se representa la segunda zona obtenida en la figura 10, para poder explicarla de mejor manera.

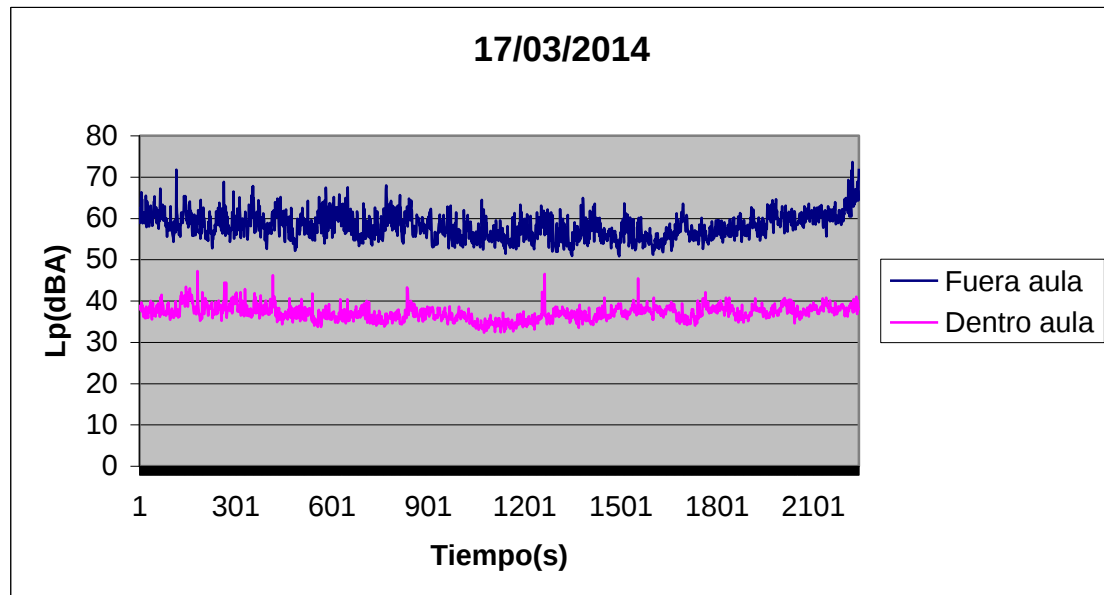


Figura13. Segunda zona de la figura 10

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	59,4 dBA	37,4 dBA
L₅	63,3 dBA	40 dBA
L₅₀	58 dBA	37 dBA
L₉₅	53,5 dBA	34,4 dBA

Tabla3. Datos de la segunda zona del día 17 de Marzo

Aquí se observa la segunda parte de la gráfica, lo primero que queremos resaltar es que en este caso no se superan los decibelios exigidos por el decreto, por lo tanto, donde habría que tomar medidas sería en el tiempo que dura los cambios de clase aproximadamente de 10 a 20 minutos.

6.2 Evolución en una semana

Se ha medido durante una semana completa para observar como evoluciona a lo largo de cada día de la semana y también decir que solo se ha realizado

durante los primeros 5 minutos porque como se ha visto en la primera gráfica son los más críticos.

En las figuras 13-17 se representan los niveles obtenidos para una misma franja horaria en función del tiempo para los diferentes días de la semana como se ha explicado anteriormente.

Lunes 3 de Marzo 2014

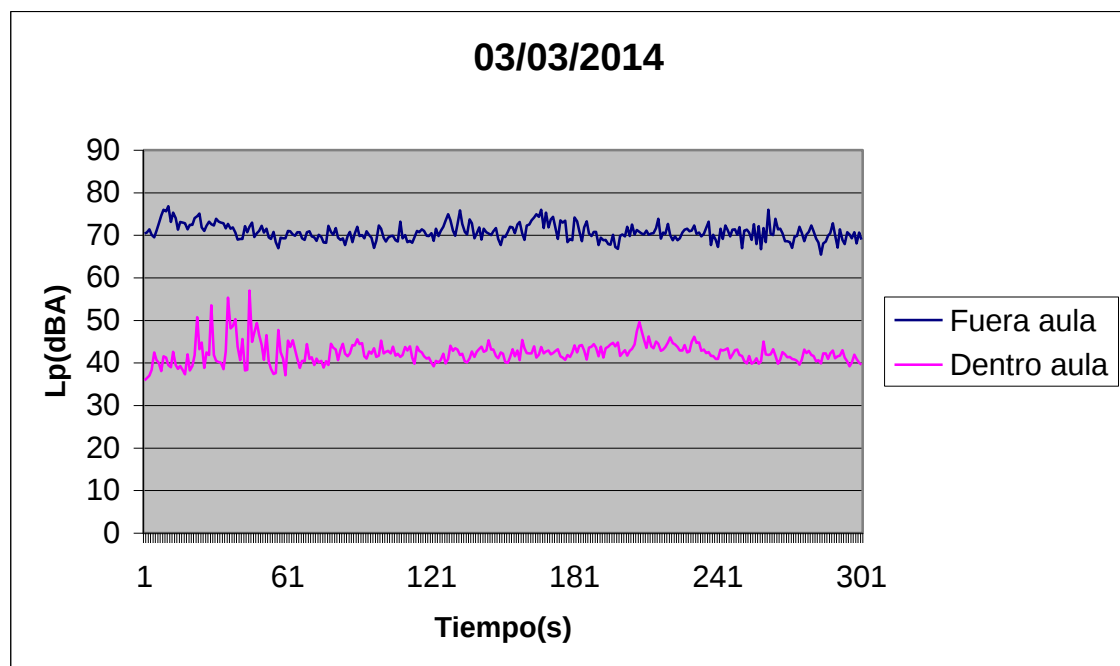


Figura14. Representación gráfica del 3 de Marzo

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	71,2 dBA	43,6 dBA
L_5	74,3 dBA	46,5 dBA
L_{50}	70,6 dBA	42,2 dBA
L_{95}	67,9 dBA	38,8 dBA

Tabla4. Datos del 3 de Marzo

Martes 4 de Marzo 2014

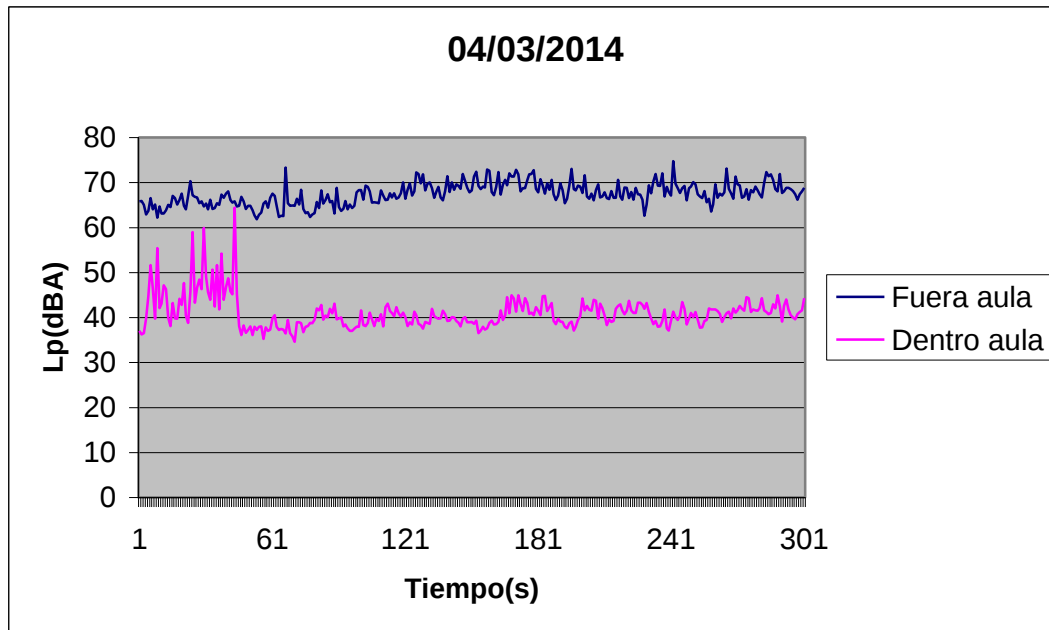


Figura15. Representación gráfica del 4 de Marzo

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	68,2 dBA	45,0 dBA
L_5	71,9 dBA	46,7 dBA
L_{50}	67,4 dBA	40,4 dBA
L_{95}	63,2 dBA	37,1 dBA

Tabla5. Datos del 4 de Marzo

Miércoles 5 de Marzo 2014

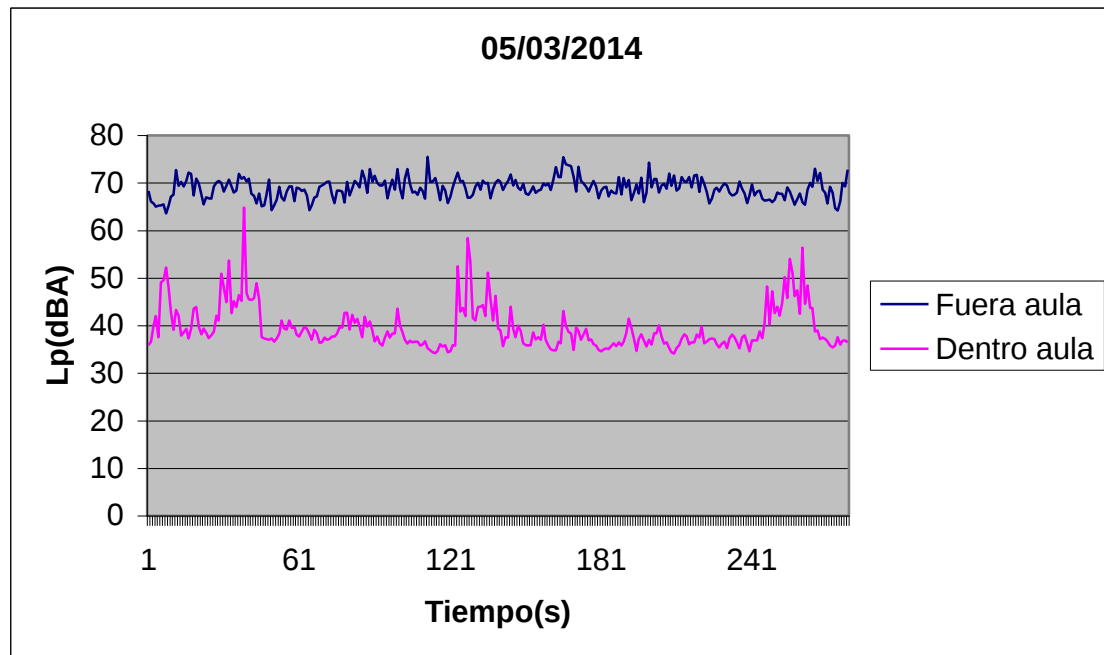


Figura16. Representación gráfica del 5 de Marzo

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	69,4 dBA	45,0 dBA
L₅	72,8 dBA	50,2 dBA
L₅₀	68,9 dBA	38 dBA
L₉₅	65,4 dBA	35 dBA

Tabla6. Datos del 5 de Marzo

Jueves 6 de Marzo 2014

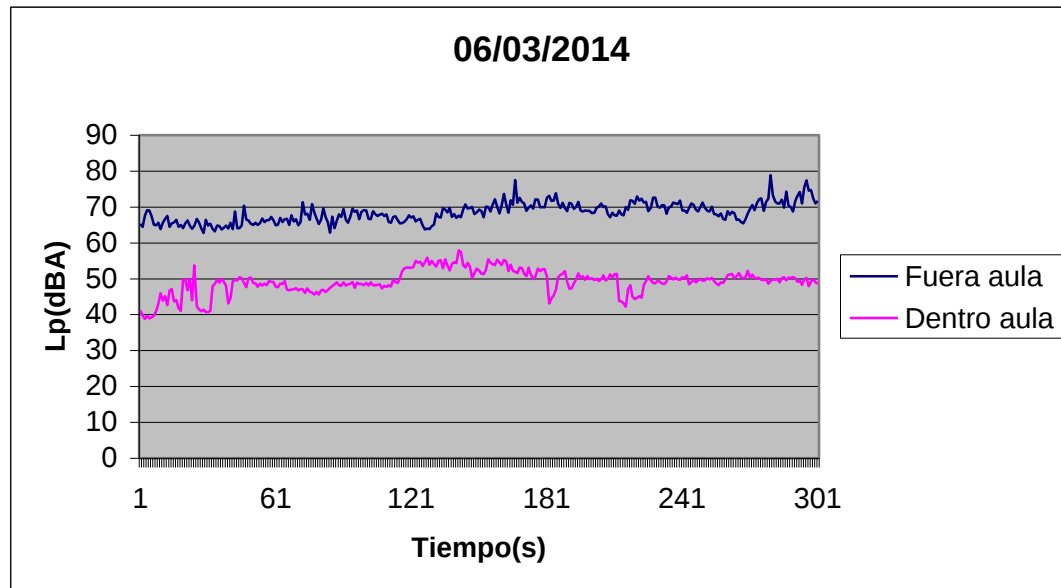


Figura17. Representación gráfica del 6 de Marzo

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	69,4 dBA	50,4 dBA
L_5	72,6 dBA	54,6 dBA
L_{50}	68,4 dBA	49,5 dBA
L_{95}	64,1 dBA	42,2 dBA

Tabla7. Datos del 6 de Marzo

Viernes 7 de Marzo 2014

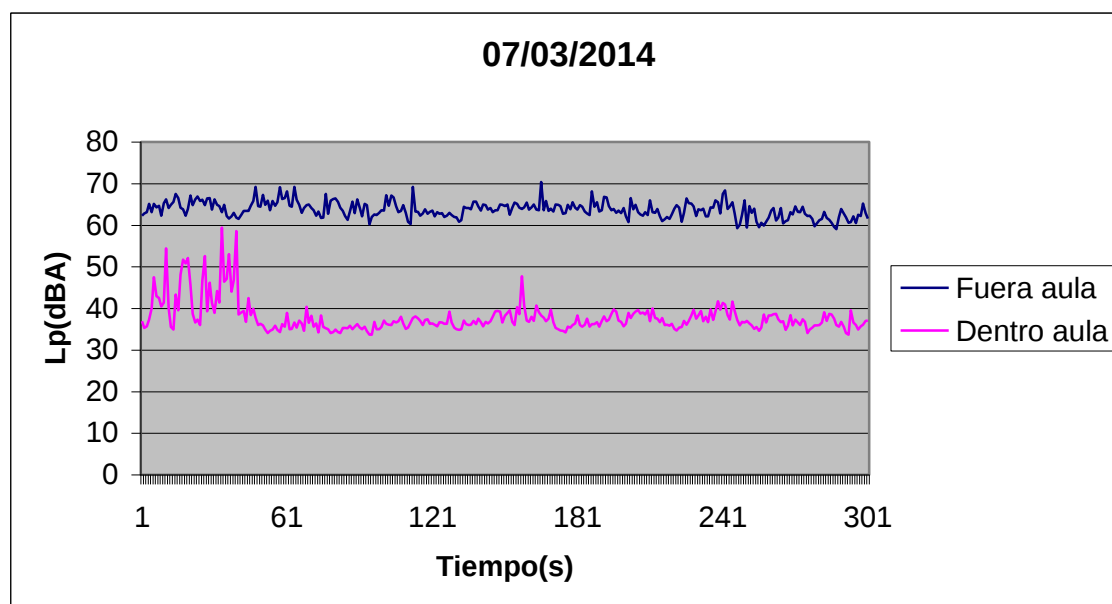


Figura18. Representación gráfica del 7 de Marzo

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	64,2 dBA	42,0 dBA
L₅	67,1 dBA	46,6 dBA
L₅₀	63,7 dBA	36,8 dBA
L₉₅	60,7 dBA	34,6 dBA

Tabla8. Datos del 7 de Marzo

Tabla resumen sobre la evolución en una semana

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes
L_{eq} (dBA) dentro aula	43,4	45,0	45,0	50,4	42,0
L_{eq} (dBA) fuera aula	71,2	68,2	69,4	69,4	64,2

Tabla9. Niveles equivalentes durante toda la semana

Lo que primero se puede resaltar observando la tabla 9, es que los 5 días de la semana superan los 40 dBA impuestos por el Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía, esto es preocupante, ya que, superar estos decibelios

provoca en los alumnos una serie de problemas que pueden llegar a afectar al aprendizaje.

Queremos comentar un dato que realmente nos ha llamado la atención como es el nivel equivalente del día 6 de Marzo, ya que supera en 10,4dBA el nivel sonoro permitido. Además, observando la tabla 7, se ve que cada percentil sobrepasa esos 40 dBA nombrados anteriormente, y creemos que esto se debe a la gran cantidad de alumnos que hay ese día y a la poca capacidad de absorción de los materiales aunque este motivo lo veremos en el apartado sobre el tiempo de reverberación y posibles soluciones más en detalle.

También que en las figuras 13-17 se puede observar que en las medidas realizadas fuera del aula hay una serie de picos que observando la gráfica no repercute dentro del aula, el motivo es que cuando los alumnos pasaban cerca del aparato de medida hablaban y por tanto aumenta los decibelios fuera del aula sin afectar al interior de la misma.

Y por último comentar que los días de mayor ruido son los que se localizan en medio de la semana (martes, miércoles y jueves) y el de menor ruido es el viernes. De cierta manera es coherente porque el último día de la semana se observa que hay menor número de alumnos por diferentes motivos.

6.3 Evolución a lo largo de un día

Se han realizado las siguientes mediciones: desde las 9:30 hasta las 12:30 cada hora los primeros cinco minutos y después desde las 16:30 hasta 19:30 los mismos intervalos que los anteriores.

Y solo se ha medido durante los primeros 5 minutos, porque se ha observado que a partir de ese tiempo los niveles sonoros bajaban y se estabilizaban, por lo tanto se ha decidido solamente representar ese tiempo para ver como el ruido del exterior de aula repercute en el interior del aula.

En la figura 19-26 se representa los niveles obtenidos a lo largo de ese día, para observar si esos niveles sonoros cambian en cada medida.

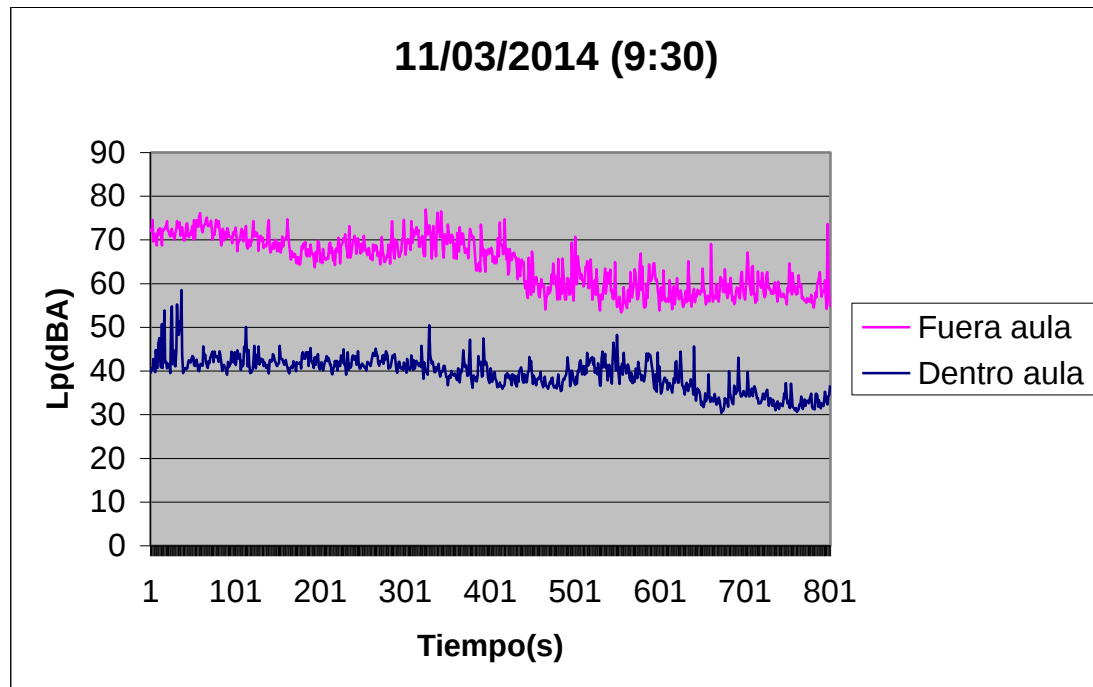


Figura19. Representación gráfica del 11 de Marzo (9:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	68,0 dBA	41,5 dBA
L_5	73,2 dBA	44,4 dBA
L_{50}	65,7 dBA	40,2 dBA
L_{95}	55,9 dBA	32,3 dBA

Tabla10. Datos del 11 de Marzo (9:30)

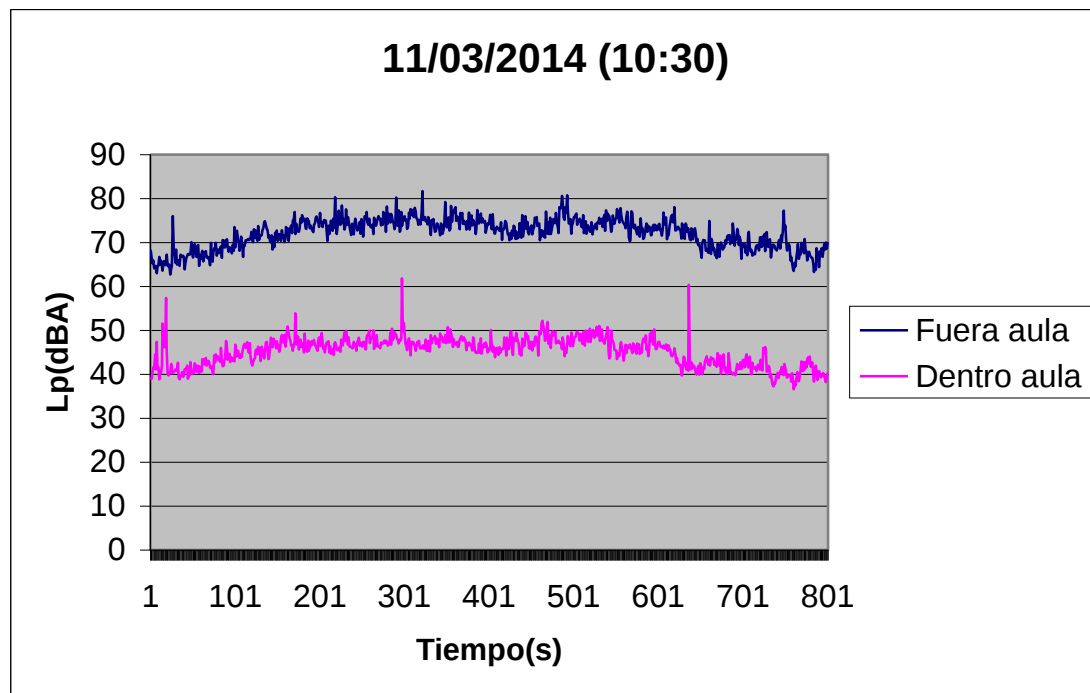


Figura20. Representación gráfica del 11 de Marzo (10:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	73,2 dBA	46,5 dBA
L_5	76,8 dBA	49,7 dBA
L_{50}	72,7 dBA	45,9 dBA
L_{95}	65,9 dBA	39,8 dBA

Tabla11. Datos del 11 de Marzo (10:30)

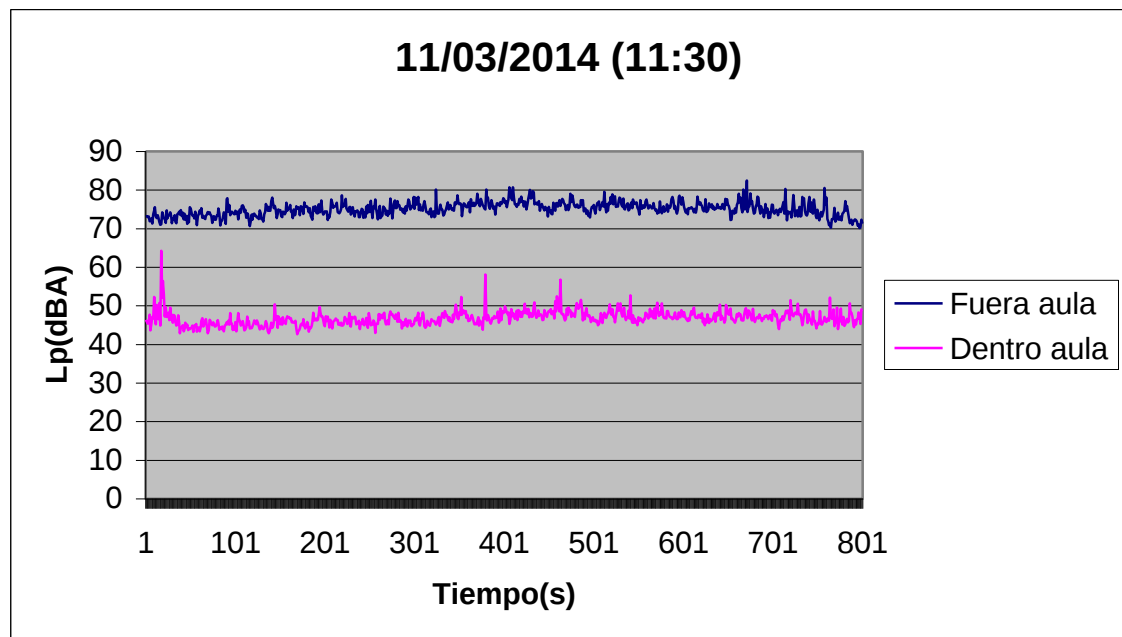


Figura21. Representación gráfica del 11 de Marzo (11:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	75,4 dBA	47,5 dBA
L_5	78 dBA	49,5 dBA
L_{50}	75,1 dBA	46,6 dBA
L_{95}	72,2 dBA	44,1 dBA

Tabla12. Datos del 11 de Marzo (11:30)

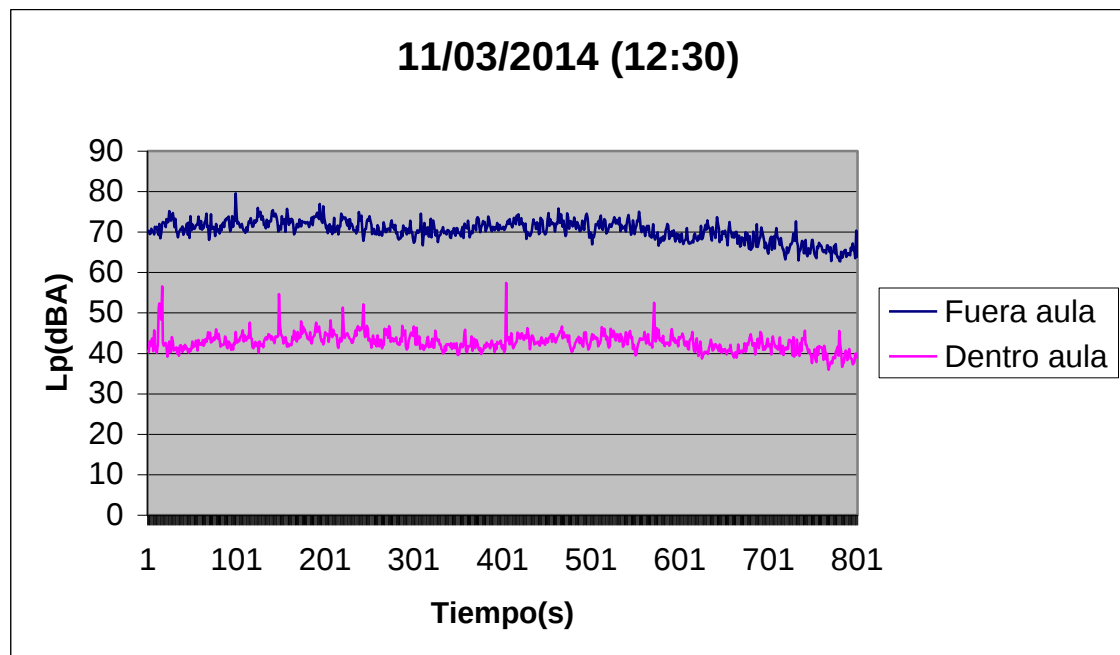


Figura22. Representación gráfica del 11 de Marzo (12:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	<i>71,0 dBA</i>	<i>43,5 dBA</i>
L_5	<i>73,8 dBA</i>	<i>45,9 dBA</i>
L_{50}	<i>70,7 dBA</i>	<i>42,6 dBA</i>
L_{95}	<i>65,4 dBA</i>	<i>39,6 dBA</i>

Tabla13. Datos del 11 de Marzo (12:30)

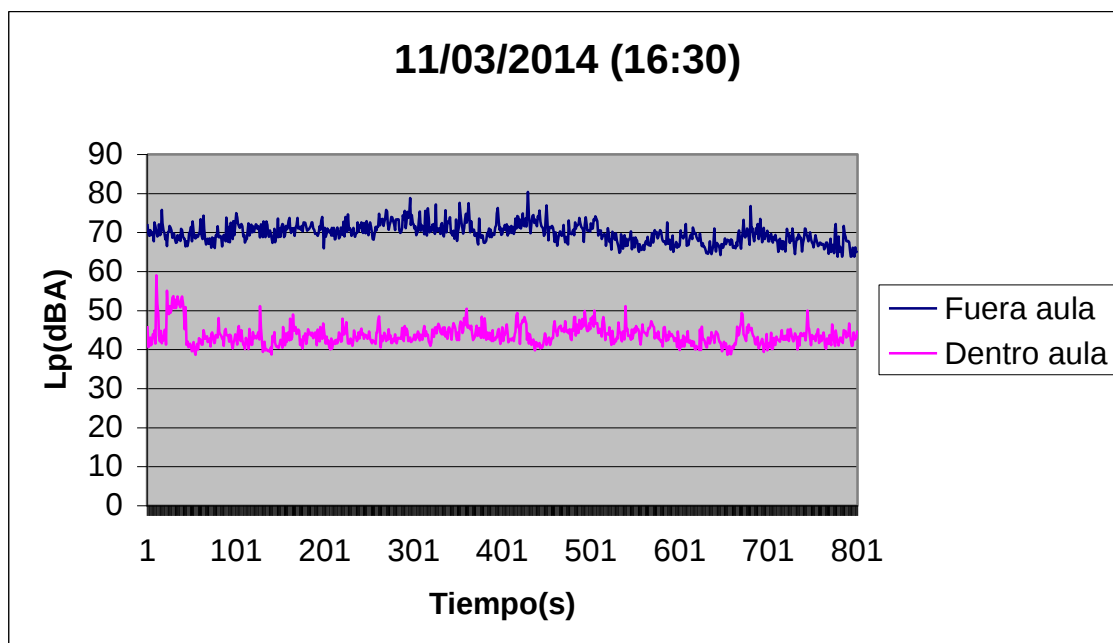


Figura23. Representación gráfica del 11 de Marzo (16:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	<i>70,6 dBA</i>	<i>44,7 dBA</i>
L_5	<i>74 dBA</i>	<i>48,3 dBA</i>
L_{50}	<i>69,7 dBA</i>	<i>43,3 dBA</i>
L_{95}	<i>65,8 dBA</i>	<i>40,4 dBA</i>

Tabla14. Datos del 11 de Marzo (16:30)

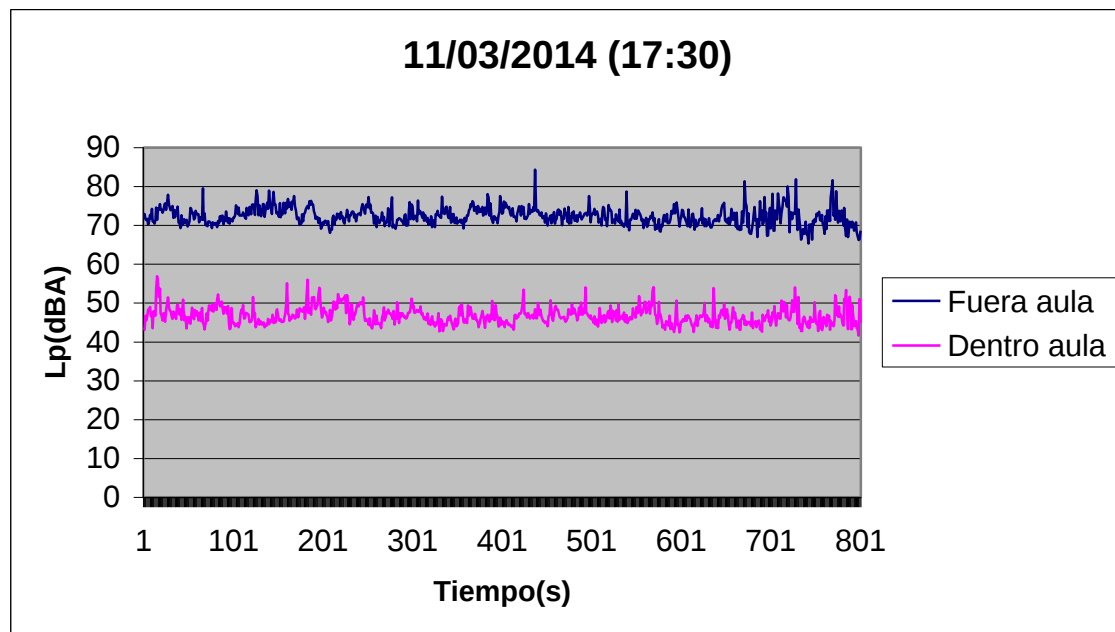


Figura24. Representación gráfica del 11 de Marzo (17:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	73,1 dBA	47,4 dBA
L_5	76,1 dBA	50,8 dBA
L_{50}	72,7 dBA	46,4 dBA
L_{95}	69 dBA	43,6 dBA

Tabla15. Datos del 11 de Marzo (17:30)

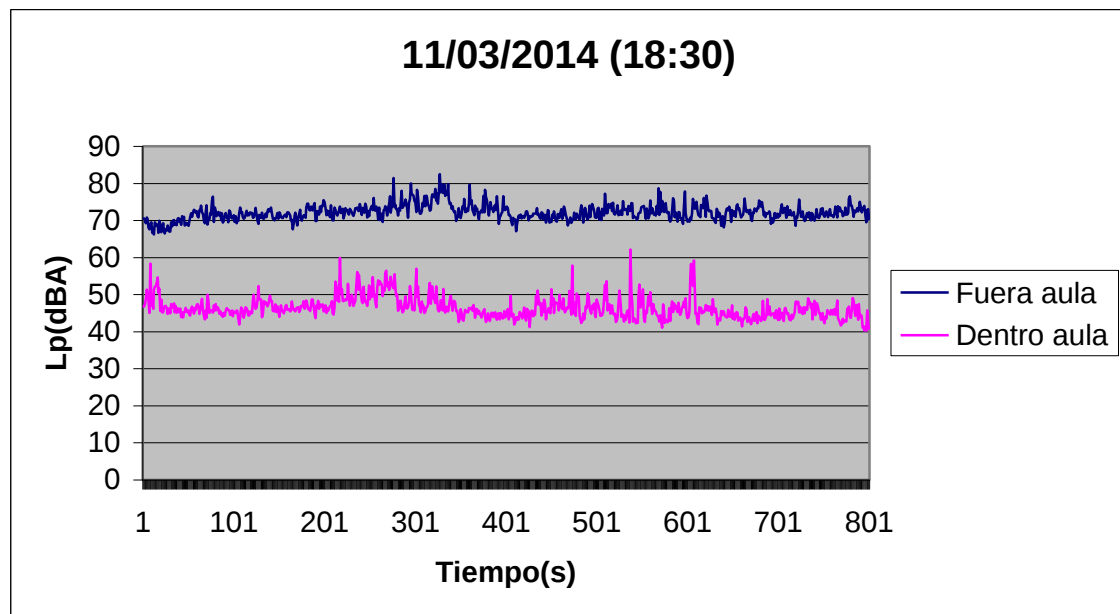


Figura25. Representación gráfica del 11 de Marzo (18:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	<i>72,7 dBA</i>	<i>47,8 dBA</i>
L₅	<i>76,2 dBA</i>	<i>52,2 dBA</i>
L₅₀	<i>72 dBA</i>	<i>45,8 dBA</i>
L₉₅	<i>69,1 dBA</i>	<i>42,8 dBA</i>

Tabla16. Datos del 11 de Marzo (18:30)

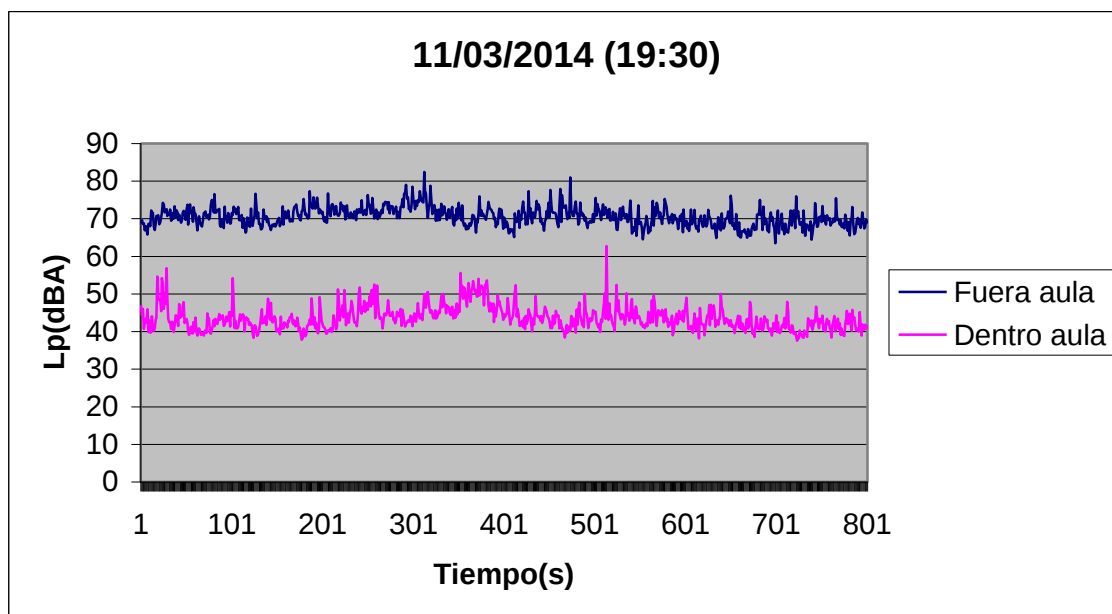


Figura26. Representación gráfica del 11 de Marzo (19:30)

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	71,4 dBA	45,4 dBA
L₅	74,8 dBA	50 dBA
L₅₀	70,4 dBA	43,1 dBA
L₉₅	66,6 dBA	39,4 dBA

Tabla17. Datos del 11 de Marzo (19:30)

Tabla resumen sobre la evolución a lo largo de un día

	9:30	10:30	11:30	12:30
L_{eq}(dBA) dentro aula	41,5	46,5	47,5	43,5
L_{eq}(dBA) fuera aula	68,0	73,2	75,4	71,0

Tabla18. Niveles equivalentes (9:30-12:30)

	16:30	17:30	18:30	19:30
L_{eq}(dBA) dentro aula	44,7	47,4	47,8	45,4
L_{eq}(dBA) fuera aula	70,6	73,1	72,7	71,4

Tabla19. Niveles equivalentes (16:30-19:30)

Lo primero que se observa en las tablas 18 y 19 es como por la mañana va aumentando el nivel equivalente cada hora hasta que llega las 12:30 y vuelve a bajar.

Por la tarde ocurre exactamente lo mismo, es decir, va creciendo el nivel equivalente cada hora que pasa hasta las 19:30 que desciende levemente.

Por tanto, las horas del día con mayor nivel equivalente son 11:30 con 47,5 dBA y las 18:30 con 47,8 dBA.

Se puede ver como en cada gráfica la curva de dentro del aula con respecto a la de fuera del aula van de forma paralela, ya que la curva del interior de la clase depende esencialmente de la de fuera.

Se quiere resaltar que las dos horas nombradas anteriormente, más del 95% de las medidas obtenidas superan los 40 dBA permitidos y de hecho el resto de horas casi el 95% de las medidas también superan ese dato.

6.4 Diferencia entre las plantas

En este apartado se ha comparado las tres plantas del edificio B4 a través de la evaluación durante 1 hora, pero para que las tres medidas fuesen a la misma hora se han realizado en diferentes días.

Se ha vuelto a colocar la figura 11, ya que esta medida se realizó durante una hora en la segunda planta de este edificio en el aula 27. Posteriormente, hemos medido en la planta baja el día 26 de Febrero en la aula 5 y por último se realizó otra medición en la primera planta el día 18 de Marzo en el aula E1.

Recordar estas medidas se realizaron todas desde las 10:30 hasta las 11:30.

Se realizaron para saber si a la misma hora en las diferentes plantas variaba los niveles acústicos.

Y para finalizar queremos aclarar que estas medidas se realizaron en intervalos de tiempo tan dispersos debido a que se necesitaba clases vacías y por lo tanto nos hemos tenido que amoldar para realizar las mediciones.

Miércoles 26 febrero, 10.30-11.30 (aula 5, B4)

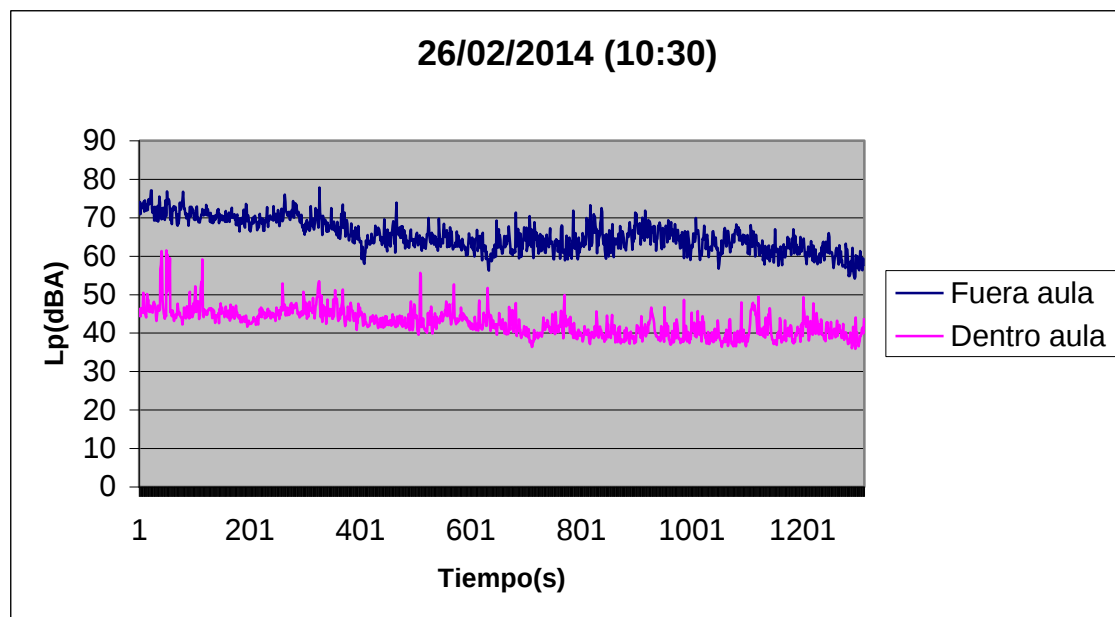


Figura27. Representación gráfica del Lp en función del tiempo del día 26 de Febrero.

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	67,6 dBA	44,8 dBA
L₅	72,9 dBA	47,8 dBA
L₅₀	64,7 dBA	42,5 dBA
L₉₅	56,9 dBA	37,7 dBA

Tabla20. Resumen de los datos del día 26 de Febrero.

Esta medida se realizó durante un hora entera en la planta baja, aula 5.

Se puede observar como en la figura 27 ambas curvas van paralelas entre si, como vimos en la figura 11 que se observaba muy bien el ruido de fuera del aula afectaba dentro del aula, mayoritariamente la medición que se realizaba dentro del aula esos resultados eran los que entraban de fuera del aula (en los pasillos del edificio).

Martes 18 Marzo, 10:30-11.30 (Aula E1, B4)

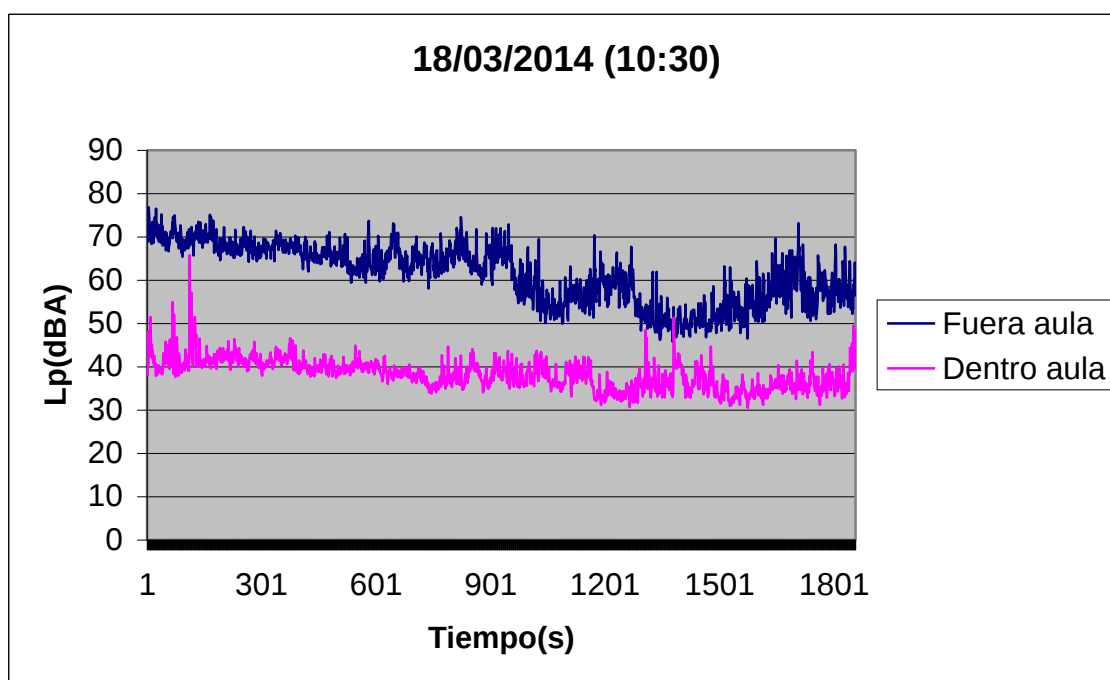


Figura28. Representación gráfica del Lp en función del tiempo del día 18 de Marzo.

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	64,6 dBA	40,6 dBA
L₅	70,5 dBA	43,5 dBA
L₅₀	60,4 dBA	38,3 dBA
L₉₅	49 dBA	32,9 dBA

Tabla21. Resumen de los datos del día 18 de Marzo.

Esta medida se realizó en la primera planta, aula E1.

En la figura 28 sí se observa un desnivel debido a que cuando estaba realizado las mediciones había alumnos cerca del aula hablando aunque estaban fuera de la clase en cambio el aparato que media fuera del aula se encontraba más retirado de ellos por tanto, la curva de fuera del aula hay un intervalo de tiempo que disminuye y la de dentro del aula permanece relativamente estable.

También comentar que los picos tan elevados que se localizan en la curva de dentro del aula se deben a sonidos cortos de tiempo y que se realizaban en la calle, aunque no han interferido demasiado en los resultados globales

Lunes 17 Marzo, 10:30-11.30 (Aula 27, B4)

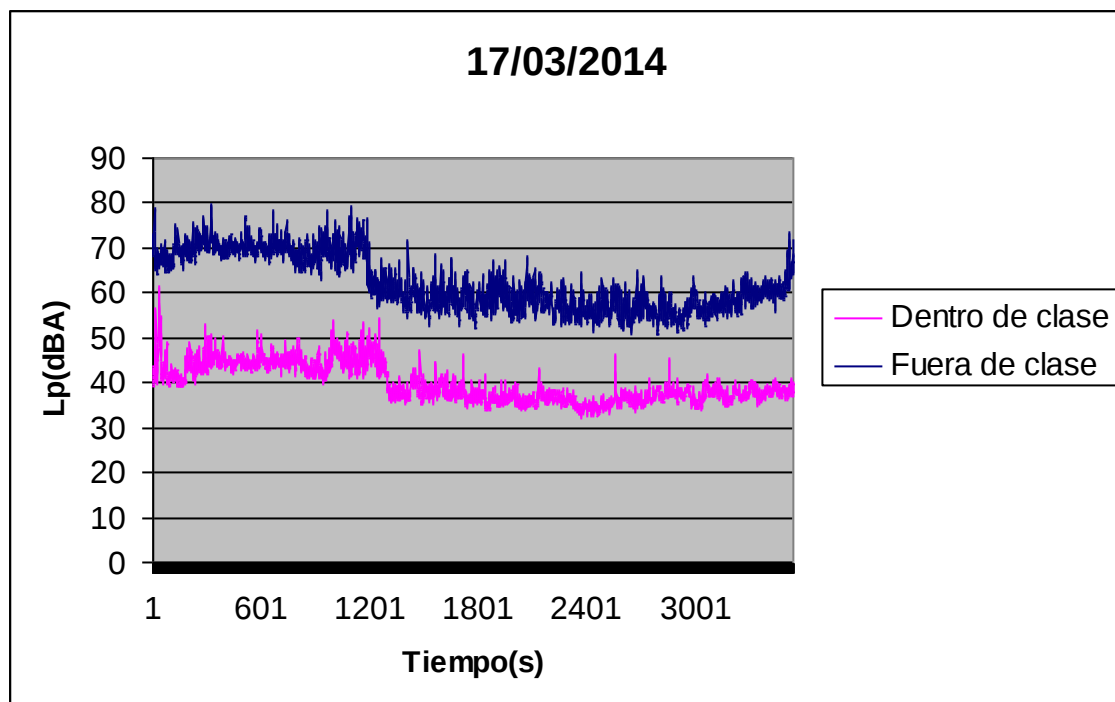


Figura11. Representación gráfica del Lp en función del tiempo del lunes 17 de Marzo.

	Fuera aula	Dentro aula
L_{eq} (nivel equivalente)	66,5 dBA	42,2 dBA
L₅	72,1 dBA	47 dBA
L₅₀	60,4 dBA	38,4 dBA
L₉₅	54 dBA	34,7 dBA

Tabla1. Resumen de los datos del día 17 de Marzo.

Tabla resumen sobre la diferencia entre las plantas

	Planta Baja	1ª Planta	2ª Planta
L_{eq}(dBA) dentro aula	44,8	40,6	42,2
L_{eq}(dBA) fuera aula	67,6	64,4	66,5

Tabla22. Resumen de los datos sobre la diferencia entre plantas.

Tras realizar el estudio en las tres plantas se observado como en la planta baja el nivel equivalente es mayor que en las planta 1 y 2, esto se debe principalmente a que los alumnos entra al edificio por la planta baja, por tanto es lógico que donde se localiza mayor nivel acústico sea en dicha planta.

Además como se puede ver en la tabla 22, en la última planta hay más decibelios que en la primera planta aunque no hay una gran diferencia. Es posible que la mayor proximidad del techo aumente la importancia relativa de las reflexiones y, por tanto, el nivel medido aumenta.

6.5 Tiempo de reverberación y posibles soluciones

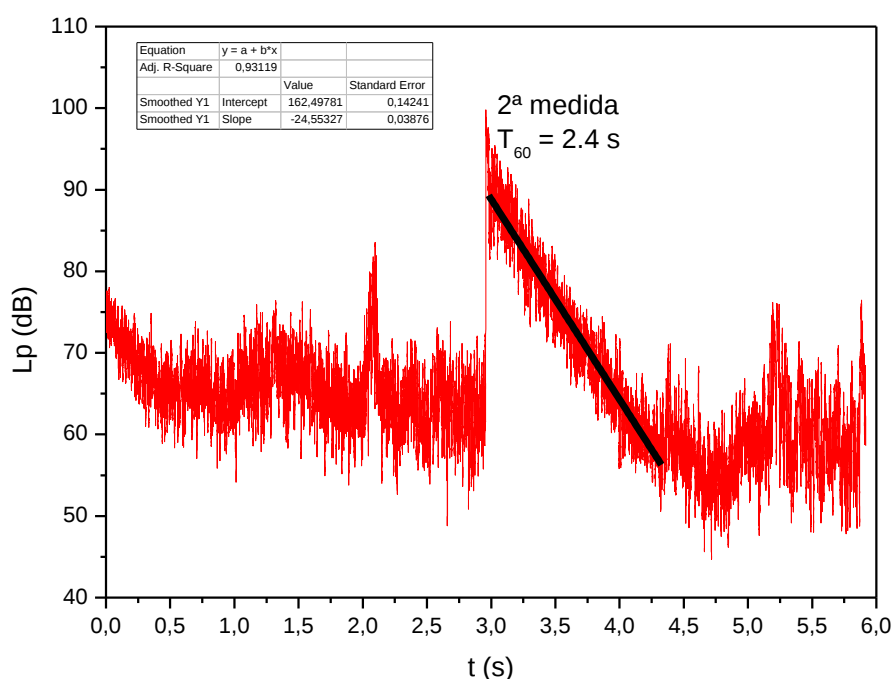


Figura29. Representación gráfica del tiempo de reverberación

Como se ha visto en la figura 11, hay una relación directa del ruido fuera del aula con el de dentro, por ello hemos querido buscar posibles soluciones fuera del aula de tal forma que afecte en el interior de la misma.

Para ello hemos calculado el tiempo de reverberación, T_{60} . Dicho tiempo se puede estimar registrando con un portátil y un micrófono el sonido de una palmada. Como se puede observar en la figura 29, el T_{60} es de 2,4 segundos, que es un valor muy elevado y acorde con la percepción que se tiene en ese edificio de una gran reverberación. Esto significa que en el edificio B4 no hay suficiente material acústico absorbente para que se reduzca la presión acústica de las ondas reflejadas, y por lo tanto disminuya el nivel sonoro en el edificio cuando la fuente está emitiendo potencia acústica de forma continua.

Como conclusión, al aumentar la capacidad de absorción fuera del aula el nivel sonoro disminuirá y esto se verá reflejado en el interior del aula. Por lo tanto

unas posibles soluciones serían colocar en los pasillos del B4 materiales acústicos absorbentes como pueden ser cortinas, alfombras, un techo con mayor absorción, etc. Y estos objetos también tienen la capacidad de reducir el tiempo que tarda en desaparecer el sonido desde que la fuente deja de emitir. (Recuero López, 1999).

7. CONCLUSIONES

1. Existe una relación directa entre el nivel de ruido en el exterior de un aula con el percibido en el interior de la misma.
2. Durante la evolución en una semana, todos los días que se ha realizado las medidas superaban los 40dBA exigidos por la normativa. Aunque también se ha observado que los días intermedios (Martes, Miércoles y Jueves) son los que se localizan mayor alumnado, por lo tanto mayor nivel acústico.
3. Durante la evolución a lo largo de un día, todas las mediciones superan los dBA permitidos, sin embargo, las horas de mayor ruido son las obtenidas a las 10:30, 11:30, 17:30 y 18:30 debido a mayor cantidad de alumnos.
4. En la comparación de las plantas, se ha demostrado que la planta baja es la de mayor nivel acústico, debido a que todos los alumnos deben pasar por ella, para entrar a sus aulas.
5. Como conclusión final y tras medir el tiempo de reverberación el edificio B4 tiene una capacidad de absorción muy baja. Esto conlleva un tiempo de reverberación y un nivel de presión elevados. Esto afecta directamente al interior de las aulas.

8. BIBLIOGRAFÍA

[1] CARACTERIZACIÓN Y CLASIFICACIÓN ACÚSTICA DE AULAS. COMPARATIVA DE PROPUESTAS DE MEJORA PARA LA INTELIGIBILIDAD. Página visitada en septiembre de 2014.

www.sea-acustica.es/fileadmin/Evora12/64.pdf

[2] Real Academia Española. Página visitada en Junio de 2014.

<http://www.rae.es>

[3] Ley 7/2007, de 9 de Julio, de Gestión Integrada de la Calidad Ambiental. Artículo 50, inciso 2.

[4] “Efectos auditivos y no auditivos del ruido de baja frecuencia sobre los estudiantes en aulas de enseñanza. Análisis de la eficiencia de la ponderación vigente en la evaluación y medición de los mismos”. Página visitada en Julio de 2014.

www.sea-acustica.es/fileadmin/Evora12/173.pdf

[5] Cyril M. Harris, Manual de Medidas acústicas y control del ruido (Mc Graw-Hill, Madrid, 1998)

[6] LA ACÚSTICA Y LA INTELIGIBILIDAD EN RECINTOS UNIVERSITARIOS. Página visitada en Julio de 2014.

www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/ASL-1_009.pdf

[7] Manuel Recuero López, Acústica arquitectónica aplicada (PARANINFO, Madrid, 1999)

[8] J. Llinares, A. Llopis, J. Sancho, Acústica arquitectónica y urbanística (Servicio de publicaciones: Universidad politécnica de Valencia, Valencia, 1996)

[9] DECRETO 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía.

[10] Plano del campus universitario de Jaén. Página visitada en Septiembre de 2014.

<http://www10.ujaen.es/conocenos/planosituacion>