

# EVALUACIÓN ACÚSTICA DE AULAS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Antonio Bautista Kuri<sup>a</sup>;

Santiago J. Pérez Ruiz<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, abkuri@yahoo.com.mx

<sup>b</sup> Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, Universidad Nacional Autónoma de México· Circuito Exterior s/n, Coyoacán, Ciudad Universitaria, 04510, Ciudad de México, México

**Abstract:** The results of the acoustic evaluation of university classrooms of an architectural ensemble dedicated to postgraduate studies and located in front of a street of intense vehicular traffic are presented. The objective is to determine if with the acoustic design employed is achieved comfort acoustic in accordance with international standards. The acoustic evaluation was based on measuring: Reverberation Time (RT), Early Decay Time (EDT), Definition (D50), Speech Transsmition Index (STI), Percentage Articulation Loss of Consonants (%ALC); in addition; to evaluating the impact of the sound generated in the nearby street, we measured the Façade Sound Insulation ( $D_{tr,2m,nT}$ )

**Resumen:** Se presentan los resultados de la evaluación acústica de aulas universitarias de un conjunto arquitectónico dedicado a estudios de posgrado y ubicado frente a una calle de intenso tráfico vehicular. El objetivo es determinar si con el diseño utilizado, se consigue confort acústico de acuerdo con estándares internacionales. La evaluación consistió en medir: Tiempo de Reverberación (TR), Tiempo de Decaimiento Temprano (EDT), Definición (D50), Índice de Transmisión del Habla (STI), Porcentaje de Pérdida de Consonantes (%ALC); además para evaluar el impacto del ruido generado por vehículos en la calle cercana, se midió el Aislamiento Sonoro de Fachada ( $D_{tr,2m,nT}$ ).

## 1. Introducción

El objetivo en las aulas es lograr la mejor comunicación oral posible, en un ambiente interior donde se privilegie la concentración y la reflexión. Estos requisitos, denominados en forma global como confort acústico, se justifican plenamente si se toma en cuenta que, en estos recintos, es donde se lleva la ardua y amplia tarea de transmitir el conocimiento, y no deben demeritar el diseño arquitectónico. En consecuencia, los recintos educativos deben diseñarse para que el conocimiento, transmitido por vía oral, no sufra distorsiones, enmascaramientos o distractores que dificulten su comprensión a cualquier oyente que se encuentre presente.

El presente trabajo tiene el objetivo de evaluar acústicamente varios salones de clase del posgrado de la UNAM, que son representativos del diseño arquitectónico actual de la UNAM, para saber si el diseño arquitectónico fue adecuado y, además, determinar de qué manera el ruido de tráfico está afectando su confort acústico. Este objetivo está motivado por la carencia tanto de la información sobre las condiciones acústicas en los interiores de los salones de la UNAM, como de la información sobre su eficacia como recintos de protección contra el ruido.

Los índices de desempeño acústico que se midieron en este trabajo representan los índices que mejor describen las condiciones acústicas en el interior de un recinto, cuando la señal a transmitir en ellos es el habla, **proporcionando información más completa, que la que proporciona el tiempo de reverberación.** Con la información que proporciona estos índices no solo se podrá dar una calificación al confort acústico proporcionado por los salones, sino que se podrá contar con elementos para realizar modificaciones, en caso de que se requiera. El tema del confort acústico en salones de clase tanto de escuelas primarias, secundarias o de nivel universitario, se ha investigado en varios estudios realizados alrededor del mundo [1-10]. Con la información surgida en estas investigaciones, se han sugerido recomendaciones para lograr diseños de salones clase con buen

confort acústico [11-12]. Estas recomendaciones usualmente limitan el tiempo de reverberación y el nivel de ruido de fondo.

El STI es un índice que describe las condiciones acústicas de un recinto, cuando la señal a transmitir es el habla [14], considerarlo como el índice de referencia tiene sentido porque su valor depende tanto del tiempo de reverberación como el ruido de fondo. El nivel de ruido de fondo en el interior se modificará por el nivel ruido externo, de modo que al medir el con y sin ventanas abiertas, se determinaría la influencia que tiene el ruido exterior, en este índice.

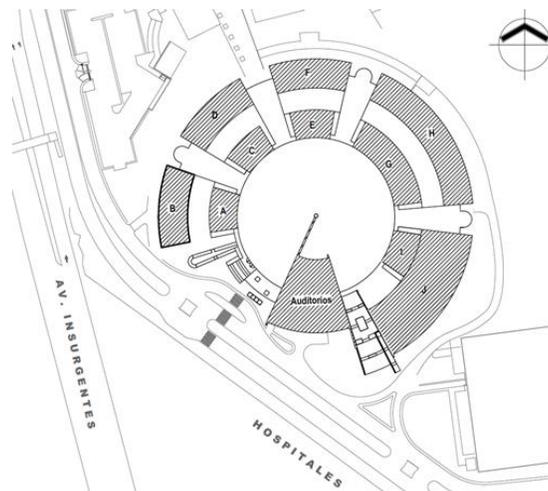
El Porcentaje de pérdida de consonantes (% ALC), expresa la pérdida de consonantes en la transmisión del habla y un porcentaje de pérdida pequeño está asociado con una buena inteligibilidad; esto se debe a que en la comprensión del habla, es decir en la inteligibilidad, la percepción de las consonantes debe ser completa, que son las que nos dan el mensaje oral. Hasta hace poco la evaluación del % ALC únicamente era posible mediante un procedimiento psicoacústico; pero se ha encontrado una ecuación empírica relacionado con el STI, esta ecuación se denomina de "Farell Becker" [15]

$$\%ALcon = 170.5405 \cdot e^{-5.419STI} \quad (1)$$

También con el fin de obtener información, sobre el tipo de muro empleado en la construcción de estos salones de clase, se midió en campo, la Diferencia de Nivel Estandarizada  $D_{tr,2m,nT}$ . Para esta medición, se utilizó como fuente sonora el ruido de tráfico vehicular, y se procedió a determinar el aislamiento sonoro global de fachada, de acuerdo con la norma vigentes ISO 16283-3; 2016.

## 2. Caso de estudio

Aulas del edificio B, dela Unidad de Posgrado de la UNAM, ubicado dentro de la Ciudad Universitaria, al sur de la ciudad de México.



**Fig. 1.-** Ubicación de la Unidad de Posgrado. Al Oeste Av. Insurgentes, colinda con el edificio "B".

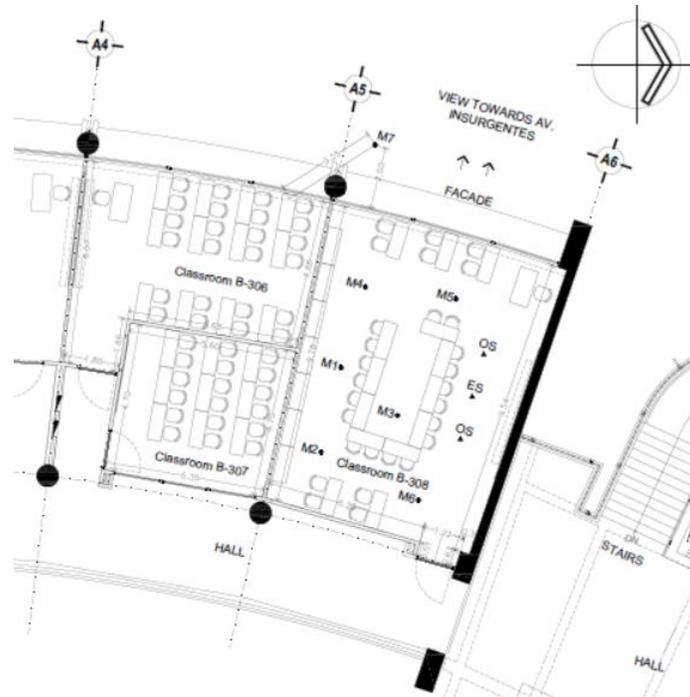


Figura 2- Ejemplo de ubicación de micrófonos, fuentes de sonido y fachada. Aula B-308.

## 2.1 Descripción de materiales de los salones estudiados y selección de los puntos de medición Aulas

- Entrepisos de concreto y piso a base de loseta de barro.
- Muro fachada Oeste, hacia la avenida Insurgentes: prefabricado de concreto como acabado final, muro de block con alveolos de cemento arena, aplanados al interior a base de mezcla y pintura, ventanas con marco de aluminio con un cristal para iluminación, ventilación tipo corrediza.
- Plafón falso corrido de tablaroca.
- Muros divisorios de tablaroca con acabado de pasta texturizada y pintura vinílica acrílica.
- Muro Este, con cancelería de ventana fija y corrediza. Puerta de acceso de chapa metálica con núcleo de poli estireno con un fijo de cristal de 50 x 50cm.
- Mobiliario: Sillas de plástico, mesas de metal con plástico.

## 3. Método

### 3.1 Medición del aislamiento sonoro de fachada en campo.

Con el fin de recabar información sobre el tipo de muro empleado en la construcción de estos salones de clase, se midió, en campo, la Diferencia de Nivel Estandarizada. Para esta medición se utilizó como fuente sonora el ruido de tráfico vehicular, y se procedió a determinar el aislamiento sonoro global de fachada, de acuerdo con la norma ISO 16383:3\_2016 [16]. Esta reciente norma, especifica dos procedimientos para medir el aislamiento sonoro, vía aérea, en campo (in situ), de fachadas de forma global (completa), un procedimiento utiliza como fuente de excitación un altavoz y el otro procedimiento utiliza el ruido vehicular. figura 2 y 3.

La norma específica que en esta situación se determina la Diferencia de Nivel:

$$D_{tr,2m,nT} = (L_{1,2m} - L_2) + 10 \cdot \log_{10} \left( \frac{T}{T_0} \right) \quad (2)$$

- $L_{1, 2m}$ . Diez veces el logaritmo, base 10, de la relación entre el promedio temporal de la presión sonora al cuadrado y el cuadrado de la presión acústica de referencia, en una posición de 2 m delante de la fachada.
- $L_2$  Diez veces el logaritmo, base 10, de la relación entre el promedio, espacial y temporal, de la presión acústica al cuadrado y la presión acústica de referencia, el promedio espacial se toma sobre la zona central del recinto, donde la radiación del campo cercano de las fronteras del recinto tiene poca influencia.

El subíndice  $tr$ , se refiere, que se utiliza el ruido de tráfico como señal de excitación

- $T$  Es el tiempo de reverberación en el cuarto receptor.
- $T_0$  Es el tiempo de reverberación de referencia; para viviendas,  $T_0=0.5$  s.

El método global de rodaje de tráfico [16], utilizando ruido vehicular, proporciona la reducción sonora real de una fachada, en un lugar dado, en relación con una posición 2 m delante de la fachada. Este método es el preferido cuando el objetivo de la medición es evaluar el rendimiento de una fachada completa, incluyendo todas las trayectorias posibles de fuga por flanqueo, en una posición especificada con respecto a la vía de circulación a considerar. Hay que resaltar que este método tiene el objetivo de estimar la diferencia de nivel de sonido exterior - interior en condiciones reales de tráfico. Debido a que el ruido vehicular es una fuente de sonido muy variable es necesario que los niveles de ruido en el exterior y en el interior deberán medirse simultáneamente. Además, debe existir una diferencia entre los niveles de presión del exterior y del interior de, al menos, 10 dB. Las aulas del edificio B, colinda con la avenida Insurgentes y los muros de las fachadas se encuentra a una distancia aproximada de 50 metros del flujo vehicular.

En este caso el ruido en el exterior se midió del lado exterior contiguo al muro de fachada en estudio, para registrar el ruido, debido a que los salones se encuentran en tercer y segundo piso, se utilizó una pértiga de sostén para el micrófono como se muestra, a modo de ejemplo, en la figura 3.



Figura 3. Posición del micrófono para medición de ruido vehicular al exterior de las aulas, frente a 2 m de la fachada, resultados ver tabla -1

### 3.2 Medición de Tiempo de Reverberación (TR), Tiempo de Decaimiento Temprano (EDT) y Definición (50)

Los índices RT, EDT y D (50), se midieron por el método de respuestas al impulso, utilizando señales sinusoidales con barrido de frecuencia exponencial como señal de estímulo, el recinto se excitó acústicamente utilizando una fuente omnidireccional, la respuesta del recinto se obtuvo mediante un micrófono omnidireccional que se colocó en cinco posiciones diferentes, los datos se procesaron con el programa DIRAC 6.0.

### 3.3 Medición de Índice de transmisión del habla (STI), porcentaje de pérdida de articulación de consonantes (% ALC)

Los evaluadores STI y % ALC, también se obtuvieron mediante la respuesta al impulso, pero en este caso se utilizó como señal de estímulo, secuencias de máxima longitud (MLS), con una característica espectral para simular voz masculina y femenina; el recinto se excitó acústicamente con una fuente que simula un patrón de directividad de la boca humana (echo speech source); los datos se procesaron con el programa DIRAC 6.0.

El índice de transmisión del habla (STI), es un descriptor acústico subjetivo confiable para valorar la inteligibilidad del habla, considera los efectos de reverberación, ruido de fondo y la dirección de la fuente sonora para poder determinar la inteligibilidad. STI tiene en cuenta la mayoría de las condiciones que podrían causar deterioro de la inteligibilidad de la voz [17].

Los valores % ALC, oscilan entre 0 (que es una excelente inteligibilidad del habla) y 100 (corresponde a una inteligibilidad del habla muy mala).

La Definición 50, es la relación de energía de sonido de llegada temprana a total, donde "temprano" significa " durante los primeros 50 milisegundos, que no se escuche como un eco. La definición está expresada en fracción los valores de 0 a 1. expresado, una fracción alta es una mejor definición.

## 4. Valores de referencia

La literatura especializada, con relación al confort acústico en el interior de un salón de clase se ha centrado fundamentalmente en el tiempo de reverberación y el nivel de ruido de fondo; por lo que los valores de referencia y recomendaciones se especifican en estas dos variables. Únicamente en las referencias [17], se especifican valores de STI de referencia para recintos universitarios.

En la tabla 1, de forma resumida, se presentan los valores de referencia que se utilizaron en este trabajo.

	TR min S	TR max S	Ruido de fondo	Volumen m <sup>3</sup>	STI
ANSI S12.60-2002 (USA)	0.6 0.7	0.6 0.7	35 dB(A) 35 dB(A)	<283 >283 y <566	---
Francia	0.4 0.6	0.8 1.2	----- -----	<250 >250	----
Alemania	0.8 0.9 1.1	1.0 1.1 1.2	----	~250 ~500 ~750	----
Japón		0.6	---	~200	----
IEC 60268-16: 2011 [17]					0.00 – 0.30 Bad, Mala 0.30 – 0.45 Poor, Pobre 0.45 – 0.60 Fair, Regular 0.60 – 0.75 Good, Bien 0.75 – 1.00 Excellent, Excelente

Tabla 1. Valores de referencia

## 4.1 Resultados

En la Tabla, se muestran los valores de sus características básicas arquitectónicas, como área y volumen, el Nivel de Presión Sonora ( $L_{Zeq}$ ,  $L_{Aeq}$ ,  $L_{Amax}$ ,  $L_{Amin}$ ), en el exterior y al interior (ruido de fondo) de las aulas, con ventanas abiertas y cerradas, y el valor del aislamiento global de la fachada ( $D_{tr,2m,nT}$ ).

En la Tabla 3 se muestran los Tiempo de Reverberación (TR), Tiempo de decaimiento temprano (EDT), Índice de transmisión el habla (STI), porcentaje de pérdida de articulación de consonantes % ALC, Definición 50, con puerta y ventanas abiertas y cerradas. Todos los volúmenes de las aulas son menores a 283 m<sup>3</sup>, por lo que los TR, al interior no deberán ser mayores a 0.6 seg., sólo 2 aulas cumplen con el TR recomendable.

## 5. Discusión y conclusiones

Los resultados demuestran que las aulas tienen condiciones acústicas fuera de los límites de referencia recomendados en la Tabla I; tanto en el nivel de ruido de fondo, como en los tiempos de reverberación. El ruido de fondo en el interior de las aulas es superior a los 35 dB(a) recomendados.

Los tiempos de reverberación son excesivos, se deben, a que el interior de las aulas, casi no tienen revestimientos, las paredes de los muros son muy reflejantes. Es importante señalar que la medición se hizo con las aulas desocupadas, pero amuebladas. El mobiliario es rudo (sin acojinamientos), en general se privilegia una selección económica y duradera. Todo esto contribuye a tener un espacio acústico muy reflejante, que influye en una inteligibilidad mala.

Lo anterior se ve confirmado, con los resultados obtenidos en la medición del STI (tabla 2); las aulas tienen valores STI, que correlaciona con una Inteligibilidad entre pobre y regular, cuando las puertas y ventanas están cerradas. Cuando las puertas y ventanas se abren los valores de STI disminuyen drásticamente, correlacionando con una inteligibilidad mala y pobre. Esto tiene particular importancia porque pone en evidencia lo desacertado del diseño arquitectónico utilizado, que sacrificó la funcionalidad de las aulas (inteligibilidad del habla) a costa de la ventilación. Los valores de % ALC y D50, indican que están en una situación desfavorable, lo que puede indicar que los alumnos y profesores se deban esforzar mucho.

La conclusión que se tiene es que las aulas estudiadas, prototipo de las construidas en la UNAM, no tienen las condiciones acústicas que garanticen una correcta comprensión del lenguaje hablado. Las condiciones acústicas actuales hacen suponer que, lejos de favorecer impiden una correcta comprensión del mensaje oral y dificultan el proceso de enseñanza –aprendizaje.

## 6. Equipo utilizado

- Laptop Lenovo Y50
- Analizador clase 1 B&K 2270, G-4 de doble canal,
- Micrófonos B&K 4189
- Amplificador, B&K 2734
- Fuente omnidireccional, tipo dodecaedro, B&K 4292-L
- Fuente Echo Speech Source, B&K 4720
- Interfaz, B&K ZE-0948
- Medidor de clima, Kestrel 4500
- Programa DIRAC 6.0
- Cables, soportes, etc., marca B&K
- Pértiga RØDE

Edificio B Aula	Datos			Aislamiento Fachada Dtr,2m,nT	Ruido Exterior, frente a 2 metros de la fachada				Ruido interior, puerta y ventanas abiertas				Ruido de fondo, puerta y ventanas cerradas			
	Área de piso m <sup>2</sup>	Volumen m <sup>3</sup>	Área fachada m <sup>2</sup>		LZeq (dB)	LAeq (dB)	LAmáx (dB)	LAmín (dB)	LZeq (dB)	LAeq (dB)	LAmáx (dB)	LAmín (dB)	LZeq (dB)	LAeq (dB)	LAmáx (dB)	LAmín (dB)
201	57.28	159.81	21.82	31	75.2	68.1	79.1	63.0	67.8	59.3	72.1	53.9	60.5	43.4	57.7	36.5
212	20.24	52.84	12.87	27	76.9	68.9	85.0	60.8	68.0	59.0	75.1	51.1	59.7	43.6	55.9	35.6
213	7.84	18.89	6.71	27	76.4	70.1	89.9	61.8	67.8	59.0	79.6	50.7	61.2	44.2	59.5	37.0
215	14.68	38.62	13.91	24	76.1	69.4	83.3	61.6	68.8	59.6	74.4	51.4	62.8	47.2	59.8	39.5
224	55.89	156.50	22.32	25	76.0	68.1	79.7	62.2	67.8	58.0	73.2	51.3	59.9	43.0	60.7	36.5
301	71.91	201.48	22.20	33	76.8	69.4	77.4	63.5	68.8	61.3	68.1	55.1	61.2	44.7	58.3	39.4
302	44.43	124.85	22.56	25	78.1	70.2	86.6	62.7	70.3	63.1	79.4	55.7	61.2	48.1	62.1	42.2
305	41.11	115.51	22.28	28	78.1	71.0	91.1	64.7	70.4	63.3	84.0	56.6	60.7	46.9	68.2	40.3
306	37.94	106.60	22.51	29	76.6	67.7	88.9	61.2	68.9	60.4	81.1	53.1	61.2	49.2	61.8	42.8
308	72.80	204.60	22.63	31	75.0	66.9	84.3	61.0	67.7	58.0	70.9	51.6	62.2	44.9	60.3	39.3

Aula	Tiempo de Reverberación (TR), con puerta y ventanas abiertas					
	Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000
B-201	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.2
B-212	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.6
B-213	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5
B-215	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5
B-224	0.8	1.4	1.3	1.4	1.3	1.0
B-301	1.8	1.9	1.9	1.9	1.7	1.2
B-302	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.1
B-305	1.2	1.3	1.6	1.4	1.4	1.1
B-306	1.2	1.5	1.6	1.5	1.3	0.9
B-308	1.9	1.9	1.6	1.5	1.5	1.3

Aula	Tiempo de Reverberación (TR), con puerta y ventanas cerradas					
	Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000
B-201	1.9	2.2	2.3	2.1	2.0	1.5
B-212	0.7	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7
B-213	0.5	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8
B-215	0.6	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7
B-224	0.8	1.4	1.3	1.4	1.3	1.0
B-301	2.1	2.5	2.8	2.5	2.3	1.6
B-302	1.6	2.0	2.1	2.1	1.9	1.5
B-305	1.3	1.7	2.0	1.9	1.9	1.4
B-306	1.4	1.9	2.2	2.1	1.7	1.0
B-308	2.3	2.5	2.1	2.0	2.0	1.6

Aula	Tiempo de decaimiento temprano (EDT), con puerta y ventanas abiertas					
	Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000
B-201	1.2	1.8	1.8	1.5	1.5	1.2
B-212	0.4	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6
B-213	0.3	0.3	0.6	0.5	0.5	0.5
B-215	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5
B-224	0.8	1.3	1.5	1.5	1.4	1.1
B-301	1.6	1.8	1.8	1.8	1.7	1.2
B-302	1.1	1.6	1.5	1.6	1.5	1.1
B-305	1.1	1.0	1.5	1.5	1.4	1.1
B-306	1.0	1.3	1.4	1.4	1.2	0.9
B-308	1.9	1.8	1.6	1.6	1.6	1.3

Aula	Tiempo de decaimiento temprano (EDT), con puerta y ventanas cerradas					
	Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000
B-201	1.5	2.2	2.2	2.2	1.7	1.4
B-212	0.5	0.6	0.7	0.9	0.8	0.7
B-213	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7
B-215	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
B-224	0.8	1.3	1.4	1.3	1.2	1.0
B-301	1.7	2.4	2.5	2.5	2.1	1.4
B-302	1.2	2.0	2.2	1.9	1.9	1.4
B-305	1.3	1.5	1.9	2.0	1.8	1.3
B-306	1.3	1.9	2.1	1.8	1.5	1.0
B-308	2.6	2.7	2.2	2.0	1.9	1.7

Aula	Índice de transmisión del habla (STI) y Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes (ALC, STI), con puerta y ventanas abiertas				
	STI	ALC STI %		ALC STI %	
	Female	Male	Female	Male	Female
B-201	0.25	0.25	46	47	
B-212	0.35	0.35	27	27	
B-213	0.45	0.46	15	15	
B-215	0.39	0.4	20	20	
B-224	0.32	0.33	31	30	
B-301	0.21	0.20	57	59	
B-302	0.36	0.33	25	29	
B-305	0.27	0.28	39	39	
B-306	0.30	0.30	33	34	
B-308	0.23	0.23	51	53	

Aula	Índice de transmisión del habla (STI) y Porcentaje de pérdida de articulación de consonantes (ALC, STI), con puerta y ventanas cerradas				
	STI	ALC STI %		ALC STI %	
	Female	Male	Female	Male	Female
B-201	0.45	0.43	15	16	
B-212	0.6	0.59	7	7	
B-213	0.6	0.59	7	7	
B-215	0.58	0.57	7	8	
B-224	0.46	0.46	14	15	
B-301	0.41	0.39	19	21	
B-302	0.47	0.45	14	15	
B-305	0.46	0.45	14	15	
B-306	0.47	0.45	13	15	
B-308	0.44	0.43	16	17	

Aula	Definición (D50), puerta y ventanas abiertas					
	Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000
B-201	0.46	0.46	0.49	0.37	0.42	0.52
B-212	0.82	0.8	0.76	0.71	0.74	0.78
B-213	0.91	0.87	0.82	0.77	0.79	0.84
B-215	0.83	0.82	0.75	0.72	0.75	0.79
B-224	0.81	0.46	0.48	0.44	0.47	0.6
B-301	0.42	0.71	0.42	0.28	0.37	0.47
B-302	0.63	0.38	0.37	0.39	0.45	0.51
B-305	0.82	0.45	0.37	0.39	0.45	0.54
B-306	0.54	0.40	0.37	0.40	0.49	0.63
B-308	0.43	0.55	0.41	0.43	0.42	0.51

Aula	Definición (D50), puerta y ventanas cerradas					
	Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000
B-201	0.33	0.34	0.31	0.36	0.36	0.47
B-212	0.78	0.71	0.61	0.63	0.66	0.71
B-213	0.8	0.64	0.64	0.61	0.6	0.66
B-215	0.63	0.74	0.6	0.64	0.63	0.66
B-224	0.62	0.47	0.47	0.43	0.46	0.55
B-301	0.33	0.30	0.27	0.25	0.28	0.41
B-302	0.54	0.42	0.29	0.34	0.36	0.44
B-305	0.51	0.42	0.31	0.35	0.40	0.50
B-306	0.44	0.38	0.30	0.35	0.40	0.55
B-308	0.31	0.37	0.36	0.38	0.37	0.47

Tabla 2 - resumen de resultados

## Referencias.

1. Shield B, Dockrell JE. External and internal noise surveys of London primary schools. *J Acoust Soc Am* 2004;115(2):730–8.
2. Hodgson M. “Case-study evaluations of the acoustical designs of renovated university classrooms”. *Appl Acoust* 2004; 65:69–89.
3. Hagen M, Kahlert J, Hemmer-Schanze C, Huber L, Meis M. “Developing an acoustic school design: steps to improve hearing and listening at schools. *Build Acoust* 2004;11(4):294–307.
4. Krüger EL, Zannin PHT. “Acoustic, thermal and luminous comfort in classrooms”. *Build Environ* 2004; 39: 1055–63.
5. Yang WY, Hodgson M. “Acoustical evaluation of preschool classrooms”. *Noise Control Eng J* 2005; 53(2):43–52.
6. Kennedy SM, Hodgson M, Edgett LD, et al. Subjective assessment of listening environments in university classrooms: perceptions of students. *J Acoust Soc Am* 2006; 119(1):299–309.
7. Zannin PHT, Marcon CR. “Objective and subjective evaluation of the acoustical comfort in classrooms”. *Appl Ergonom* 2007; 38:675–80.
8. Bradley J. S. Sato H. “The intelligibility of speech in elementary school classrooms” *J Acoust Soc Am* 2008; 123(4):2078–2086.
9. Astolfi A, Pellerey “Subjective and objective assessment of acoustical and overall environmental quality in secondary school classrooms. *J. Acoust Soc Am* 2008; 123: 163-73.
10. Zannin PHT, Zwirter DPZ “Evaluation of the acoustics performance of classrooms in public schools”. *Appl. Acoust* 2009; 70: 626.35.
11. ANSI/ASA S12.60. Acoustical performance criteria, design requirements, and guidelines for schools, Part 1: Permanent schools. New York: American National Standards Institute, Inc. [ANSI] and Acoustical Society of American [ASA]; 2002.
12. Vallet M, Karabiber Z, “Some European policies regarding acoustical comfort in educational buildings” *Noise Contr. Eng. J.* 2002; 50(2): 58-62.
13. Bowden EE, Wang LM. “Verifying two commercial software implementation of impulse-response-based speech intelligibility measurements” *Appl. Acoust.* 2007; 68: 626:35.
14. Gomez-Escobar V. Barrigón-Morillas JM. “Analysis of intelligibility and reverberation time recommendations in educational rooms” *Appl. Acoust.* 2015; 96: 1:10.
15. Application Note, Measuring Speech Intelligibility Using DIRAC 7841. Bruel & Kjaer, 2015
16. ISO 16283-3, Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Façade sound insulation.
17. IEC 60268-16: 2011, Sound system equipment – part 16: Objective rating of speech intelligibility by speech transmission index.

## Reconocimientos

- Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico (CCADET), UNAM.
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del proyecto No. 213883