

EVALUACIÓN ACÚSTICA DE AULAS DE LA UNIDAD DE POSGRADO DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PACS 43.10.Hj

Bautista Kuri, Antonio ^a; Pérez-Ruiz S. Jesús ^b

^a Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, CCADET-UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México
Tel. + 52 1 55 3669 3773

E-mail: abkuri@yahoo.com.mx

^b Grupo de Acústica, Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico, CCADET-UNAM, Circuito Exterior s/n, Ciudad Universitaria, Coyoacán, 04510, Ciudad de México, México

ABSTRACT

Se presentan los resultados de la evaluación acústica del diseño de aulas universitarias de un conjunto arquitectónico dedicado a estudios de posgrado, ubicado frente a una avenida de intenso tránsito vehicular. Esta 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 Articulación de Consonantes (%ALC); además para evaluar el impacto del ruido generado por la avenida cercana, se midió la Diferencia de Nivel Estandarizada de la fachada ($D_{tr,2m,nT,w}$), en la gama de frecuencias 100 a 5 000 Hz. Los resultados se compararon con estándares internacionales relacionados al confort acústico en aulas.

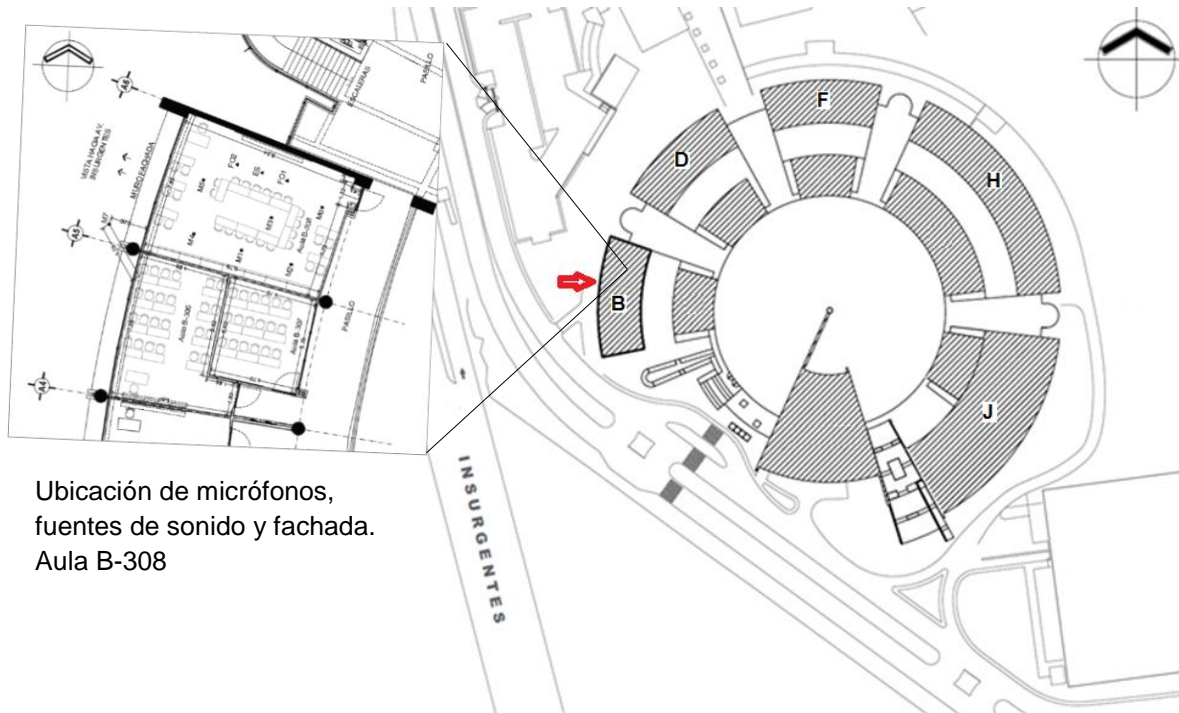
1. INTRODUCCIÓN

El tema del confort acústico en las aulas tanto de escuelas primarias, secundarias o de nivel universitario, se ha estudiado alrededor del mundo [1-10]. Con la información obtenida, se han establecido parámetros de los calificadores del confort acústico para aulas [11-14], de igual manera dan información de los factores que lo afectan, para tomarla en cuenta en diseños arquitectónicos.

El objetivo del presente trabajo, es evaluar acústicamente 10 aulas ubicadas en el Edificio B de la Unidad de Posgrado (UP) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), para determinar de qué manera el ruido de tránsito está afectando las condiciones acústicas de las aulas. Un segundo objetivo es saber si los resultados se correlacionan con el reporte de la encuesta de percepción [15]; por último, es valorar si el diseño de las aulas proporcionan confort acústico.

La UP de la UNAM fue proyectada y construida entre los años 2011 y 2013, el conjunto arquitectónico está ubicado al Sur de la Ciudad de México, dentro del Campus de Ciudad Universitaria, está constituido por una serie de 11 edificios de concreto, que conforman un semicírculo en torno a una plaza, figura 1 y 2, los edificios B, D, F, H y J (cuerpos exteriores),

destinados para actividades académicas, comprendidos por: planta sótano, planta baja, tres niveles y azotea. La forma semicircular de la UP aporta una variedad de orientaciones propiciando diferentes ambientes sonoros y niveles de radiación solar en las aulas.



Ubicación de micrófonos, fuentes de sonido y fachada. Aula B-308

Figura 1. Ubicación de las aulas estudiadas en el Edificio B de la Unidad de Posgrado de la UNAM.

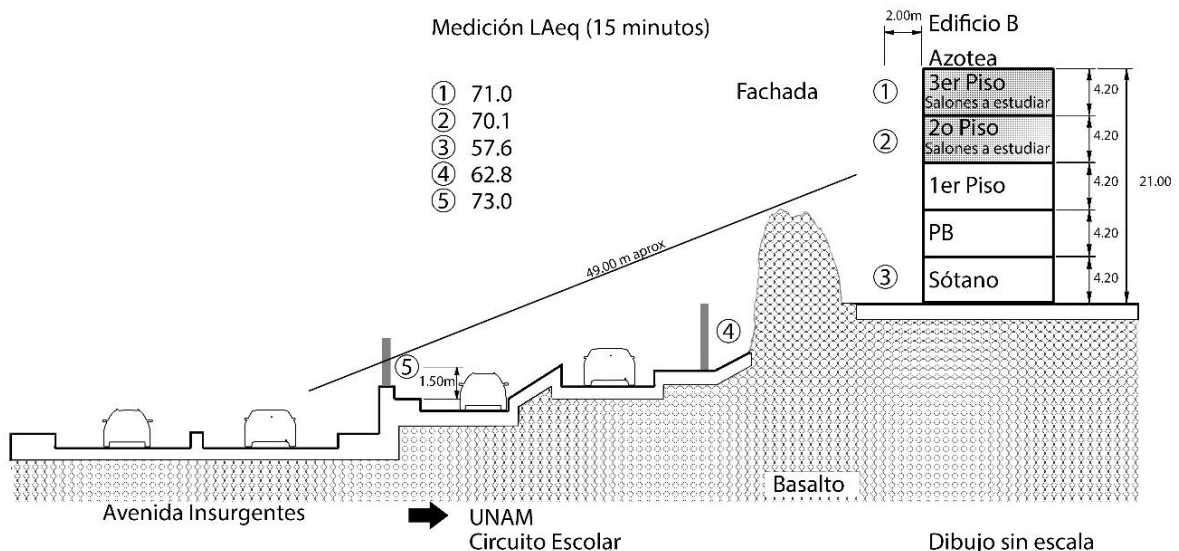


Figura 2. Corte lateral de la ubicación del Edificio B, puntos de medición del ruido exterior y distancia a la avenida Insurgentes.

El Edificio B, colinda con la avenida Insurgentes, figura 2, debido al tránsito vehicular se han presentado quejas por parte de los alumnos y profesores sobre los niveles de ruido. Una encuesta de percepción de ruido realizada [15]; arrojó los siguientes resultados: el 48.4% de los

alumnos manifiestan que el ruido ambiental dentro de este conjunto arquitectónico es un problema; el 59.3% opina que el ruido de tránsito afecta principalmente las actividades académicas que se llevan a cabo dentro del aula; el 64.8% considera que el Edificio B, es el que tiene más problemas de todos; el 42.2% declara que el ruido generado por el tránsito vehicular molesta a los usuarios; por último el 56.1% refiere que la principal fuente de ruido es la proveniente de avenida Insurgentes

Valores de referencia: La literatura especializada, con relación al confort acústico al interior de las aulas, se ha centrado fundamentalmente en el TR y el nivel de RF. En la referencia [20], se especifican valores de STI para aulas universitarias. Los valores utilizados como referencia en este trabajo son los de ANSI tabla 1.

	RT min seg.	RT max seg.	Ruido de fondo	Volumen m ³
ANSI S12.60-2002 (USA)	0.6	0.6	35 dB(A)	<283
	0.7	0.7	35 dB(A)	>283 <566
Francia	0.4	0.8	----	<250
	0.6	1.2	----	>250
Alemania	0.8	1.0	----	~250
	0.9	1.1		~500
	1.1	1.2		~750
Japón		0.6	---	~200

Tabla 1. Valores de referencia que se utilizaron en este trabajo.

2. MÉTODO

Medición de índices de desempeño acústico: Los índices que se midieron fueron: Tiempo de Reverberación (TR), Tiempo de Decaimiento Temprano (EDT) y Definición (D50). Estos calificadores, se midieron por el método de respuesta al impulso, utilizando señales sinusoidales con barrido de frecuencia exponencial, generado por medio de un amplificador marca Bruel & Kjaer mod. 2734, y una fuente omnidireccional B&K 4292-L, se colocó en una posición a 1.50 m de altura, la respuesta del recinto se obtuvo mediante un micrófono omnidireccional B&K 4189, el cual se colocó a 1.2 m, de 3 a 5 posiciones, de acuerdo al tamaño del espacio, las mediciones fueron realizadas con muebles sin personas, con puerta y ventanas abiertas; con puertas y ventanas cerradas. Los datos se procesaron en bandas de octava con el programa DIRAC 6.0, en una laptop Lenovo Y50.

Tiempo de reverberación (TR), es el tiempo necesario en segundos para que el nivel de presión sonora en un recinto disminuya 60 dB, después de que la fuente de sonido se haya detenido.

Tiempo de decaimiento temprano (EDT), es 6 veces el tiempo que tarda en disminuir 10 dB el nivel de presión sonora después de que la fuente de sonido se haya detenido. Mide la reverberación percibida de manera subjetiva, determina el grado de "viveza" de un recinto. Cuando el TR y el EDT son los mismos valores, indica que el espacio es simétrico y los acabados finales están colocados de forma equilibrada.

Definición 50 (D50), es la relación de energía del sonido directo y reflejado en los primeros 50 milisegundos y la energía del sonido total, vinculándola con la comprensión del habla [17]. Una sala dedicada a conciertos, presenta un índice de definición menor a 0.5; entre 0.5 y 0.65 para salas de voz y música; mayor a 0.65 para salas de voz donde se privilegia la inteligibilidad del habla [16].

Medición de índices acústicos relacionados con la comprensión del habla: Los índices STI y %ALC, se obtuvieron mediante la respuesta al impulso utilizando señales de secuencias de longitud máxima (MLS, por sus siglas en inglés), simulando voz femenina y masculina, mediante un patrón de directividad de la boca humana utilizando la Echo Speech Source B&K 4720, se colocó a 1.50 m de altura donde se ubica el profesor, la toma de datos se realizó por medio de un micrófono B&K 4189, colocado a 1.20 m de altura de 3 a 5 posiciones, de acuerdo al tamaño del espacio, las mediciones fueron realizadas con muebles sin personas, con puerta y ventanas abiertas y cerradas. Los datos se procesaron con el programa DIRAC 6.0 con una laptop Lenovo Y50.

El índice de transmisión del habla (STI), por sus siglas en inglés, permite cuantificar el grado de inteligibilidad de la palabra, sus valores van de 0 (malo) a 1 (excelente) [17], el cual se basa en el TR y RF, se correlaciona directamente con el %ALC.

El porcentaje de pérdida de articulación de consonantes (%ALC), por sus siglas en inglés, indica el porcentaje de consonantes que se pierden al escuchar, sus valores van de 0% (excelente) a 100% (malo), entre menos consonantes se pierdan mejor será la inteligibilidad, debido a que las consonantes son las que proveen la comprensión del 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 se denomina de “Farell Becker” [18]

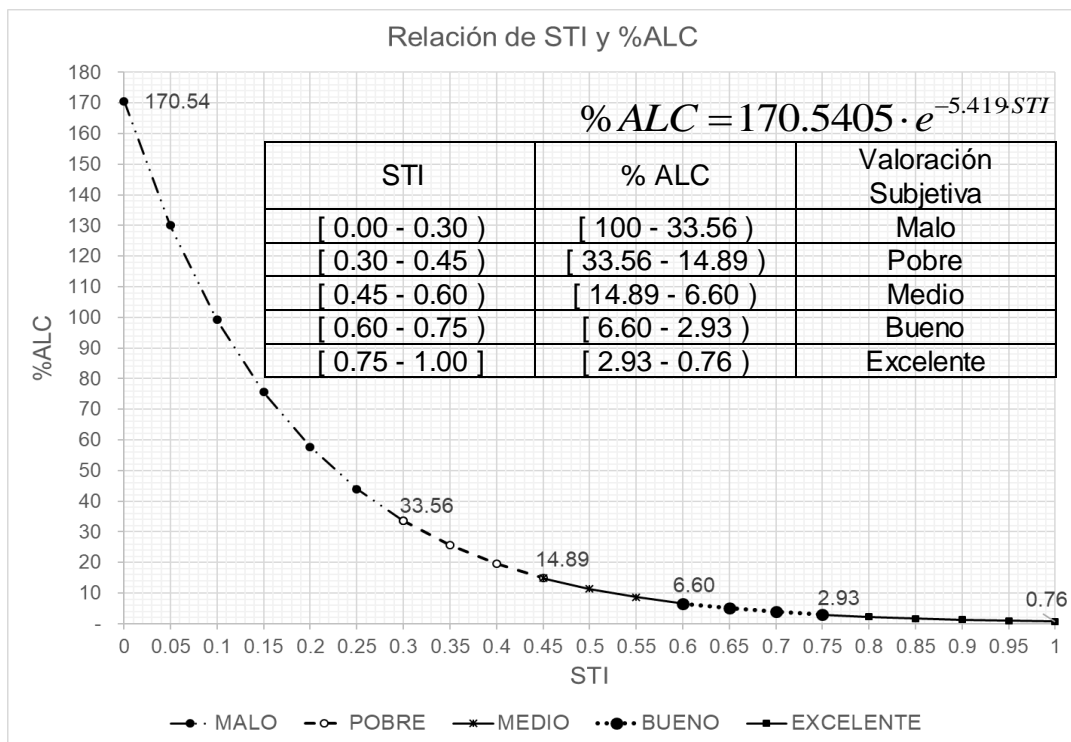


Figura 3 - Relación entre %ALC, STI y la valoración subjetiva del grado de inteligibilidad

Diferencia de nivel estandarizada: Es un valor de un sólo número que indica la diferencia de nivel de presión sonora (NPS) exterior- interior a través de la fachada, incluye todas las trayectorias posibles por flanqueo. Para cuartos con volúmenes de 25 a 250 m³, se mide simultáneamente el exterior – interior, en el rango de frecuencias de 100 a 5 000 Hz [19, 21], debido a que las aulas se encuentran en el segundo y tercer piso, primero se colocó un micrófono B&K 4189 en una pértiga RØDE a 2 m frente a la fachada, sostenida desde la ventana del aula contigua, figura 4. Un segundo micrófono B&K 4189, se colocó al interior de las aulas en 5

posiciones diferentes a 1.5 m de altura durante 3 minutos cada vez. Como emisor sonoro se utilizó el ruido de tránsito vehicular, las mediciones fueron realizadas con muebles sin personas, con puerta y ventanas cerradas. Los resultados se evaluaron en bandas de tercios de octava de manera simultánea con un analizador B&K 2270, de doble canal con programas incluidos, tabla 7.

Usualmente para las mediciones de $D_{tr,2m,nT,w}$ [19], se utiliza el programa BZ-7228 B&K que maneja el sonómetro B&K 2270, en el cual se parametriza la obtención del TR en modo paralelo, donde analiza todas las bandas de frecuencias al mismo tiempo, pero en las aulas con volumen inferior a 106 m³, no proporcionó valores en las bandas de frecuencias menores a 250 Hz. Otro medio para obtener los valores TR con el mismo programa es por el modo serial, en el cual las mediciones se realizan por cada banda de frecuencia, exigiendo más tiempo, siendo que las aulas son de uso continuo, se optó por utilizar el método descrito en [19]. Los valores de TR que se utilizaron fueron obtenidos con (2). No fue necesario realizar la corrección de RF, porque la diferencia exterior-interior en bandas de frecuencia fue mayor a 10 dB, obteniendo además los valores de termino de adaptación espectral C y C_{tr} [21].



Figura 4. Posición del micrófono para medición de ruido vehicular a 2m frente de la fachada

Al existir una diferencia entre los niveles de presión sonora exterior - interior mayor de 10 dB [19], específica que la Diferencia de Nivel Estandarizada se determina por:

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

Donde:

- $L_{1,2m}$. 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.

- tr* indica que se utiliza el ruido de tránsito como señal de excitación
 T_0 Es el tiempo de reverberación de referencia, normalizado $T_0=0.5$ s.
 T Es el tiempo de reverberación (TR) en el cuarto receptor.

Ruido de Fondo (RF), las mediciones de NPS de RF se realizaron con micrófonos B&K 4189, al interior en una posición a 1.5 m de altura con puerta y ventanas cerradas y simultáneamente al exterior a 2 m frente a la fachada durante 15 minutos. Los datos se procesaron en un sonómetro B&K 2270 de doble canal. De forma similar se midió únicamente el interior con puertas y ventanas abiertas, tabla 6.

Descripción arquitectónica de las aulas

- Estructura de concreto, piso de losetas 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 cristal para iluminación, ventilación con ventana tipo corrediza que no sella.
- Plafón falso de tablaroca.
- Muros divisorios de tablaroca con acabado de pasta texturizada con pintura vinílica acrílica.
- Muro Este, con cancelería de ventana fija y corrediza que no sella, puerta de acceso de chapa metálica que no sella, con núcleo de poliestireno con un cristal fijo de 50 x 50cm.
- En general, las aulas cuentan con mobiliario prefabricado de: mesas metálicas con cubierta plástica para dos personas, sillas individuales de plástico, proyector, pantalla blanca para proyección, pizarrón blanco, en algunos casos pizarrón de tiza.
- Las aulas no tienen sistema de ventilación mecánica, ocurre al abrir puerta y ventanas.
- Existen varios modelos tipo de aula, el concepto refleja que su diseño no está basado en las necesidades específicas que los usuarios requieren para cada posgrado. De acuerdo a su tamaño se han clasificado de la siguiente manera: 1) Cubículo ~19 m³; 2) Aula chica ~53 m³; 3) Aula mediana ~107 m³; 4) Aula grande ~205 m³; todas las aulas estudiadas tienen un volumen menor a 283 m³, tabla 8.

3. RESULTADOS

Las tablas 2, 3 y 4 muestran los valores de TR, EDT y D50, medidos en las 10 aulas del Edificio B de la UP de la UNAM; los valores están en bandas de octava de 125 , 250, 500, 1 000, 2 000 Hz. Las mediciones se hicieron en dos condiciones: a) con puerta y ventanas abiertas y b) con puerta y ventanas cerradas.

Edificio B Aulas	Tiempo de Reverberación (TR), con puerta y ventanas abiertas						Tiempo de Reverberación (TR), con puerta y ventanas cerradas					
	Frecuencia Hertz						Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
201	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.2	1.9	2.2	2.2	2.1	2.0	1.5
212	0.5	0.6	0.7	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.8	0.9	0.8	0.7
213	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.5	0.4	0.7	0.9	0.9	0.9	0.8
215	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.8	0.7
224	0.9	1.4	1.4	1.4	1.3	1.0	1.0	1.5	1.4	1.5	1.5	1.2
301	1.8	1.9	2.0	1.9	1.7	1.2	2.1	2.5	2.8	2.5	2.3	1.6
302	1.6	1.6	1.7	1.6	1.5	1.1	1.6	1.9	2.1	2.1	1.9	1.5
305	1.2	1.4	1.6	1.5	1.4	1.1	1.3	1.7	2.0	1.9	1.9	1.4
306	1.2	1.5	1.5	1.5	1.3	0.9	1.3	2.0	2.2	2.1	1.7	1.0
308	1.9	1.8	1.6	1.5	1.5	1.3	2.3	2.5	2.1	2.0	2.0	1.6

Tabla 2. TR aulas con puerta - ventanas abiertas y cerradas

Edificio B Aulas	Tiempo de decaimiento temprano (EDT), con puerta y ventanas abiertas						Tiempo de decaimiento temprano (EDT), con puerta y ventanas cerradas					
	Frecuencia Hertz						Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
201	1.2	1.8	1.8	1.5	1.5	1.2	1.5	2.2	2.2	1.8	1.9	1.4
212	0.5	0.4	0.6	0.7	0.6	0.6	0.5	0.6	0.7	0.9	0.8	0.7
213	0.3	0.3	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7
215	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.5	0.4	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
224	0.8	1.3	1.3	1.3	1.2	1.0	0.8	1.3	1.5	1.5	1.4	1.1
301	1.5	1.7	1.9	1.8	1.7	1.2	1.7	2.4	2.5	2.4	2.2	1.4
302	1.0	1.6	1.5	1.6	1.5	1.1	1.2	1.9	2.2	1.9	1.9	1.4
305	1.1	1.0	1.5	1.5	1.4	1.1	1.3	1.5	1.9	2.0	1.8	1.3
306	1.0	1.3	1.4	1.4	1.2	0.9	1.3	1.9	2.1	1.8	1.5	1.0
308	1.9	1.8	1.6	1.6	1.6	1.3	2.2	2.7	2.2	2.0	1.9	1.7

Tabla 3. EDT aulas con puerta - ventanas abiertas y cerradas

Edificio B Aulas	Definición (D50), puerta y ventanas abiertas						Definición (D50), puerta y ventanas cerradas					
	Frecuencia Hertz						Frecuencia Hertz					
	125	250	500	1000	2000	4000	125	250	500	1000	2000	4000
201	0.33	0.36	0.37	0.41	0.36	0.45	0.29	0.27	0.27	0.33	0.34	0.40
212	0.81	0.77	0.67	0.68	0.66	0.69	0.75	0.64	0.59	0.55	0.54	0.65
213	0.89	0.90	0.75	0.77	0.75	0.77	0.78	0.72	0.63	0.58	0.56	0.63
215	0.85	0.84	0.74	0.72	0.69	0.74	0.83	0.71	0.63	0.60	0.59	0.62
224	0.59	0.47	0.44	0.47	0.45	0.53	0.59	0.48	0.41	0.45	0.43	0.51
301	0.51	0.33	0.34	0.40	0.39	0.45	0.40	0.24	0.25	0.27	0.30	0.41
302	0.49	0.44	0.41	0.36	0.38	0.45	0.37	0.30	0.25	0.29	0.30	0.39
305	0.51	0.48	0.37	0.43	0.42	0.45	0.48	0.39	0.29	0.35	0.32	0.40
306	0.58	0.45	0.38	0.41	0.43	0.55	0.48	0.39	0.29	0.31	0.34	0.48
308	0.40	0.41	0.35	0.34	0.36	0.42	0.30	0.32	0.28	0.30	0.30	0.34

Tabla 4. Definición D50 aulas con puerta - ventanas abiertas y cerradas

Edificio B Aulas	STI y %ALC puerta y ventanas abiertas				STI y %ALC puerta y ventanas cerradas			
	STI Mujer	STI Hombre	%ALC Mujer	%ALC Hombre	STI Mujer	STI Hombre	%ALC Mujer	%ALC Hombre
201	0.25	0.25	46	47	0.45	0.43	15	16
212	0.35	0.35	27	27	0.60	0.59	7	7
213	0.45	0.46	15	15	0.60	0.59	7	7
215	0.39	0.40	20	20	0.58	0.57	7	8
224	0.32	0.33	31	30	0.48	0.47	13	14
301	0.21	0.20	57	59	0.40	0.38	19	21
302	0.36	0.33	25	29	0.47	0.45	14	15
305	0.27	0.28	39	39	0.46	0.45	14	15
306	0.30	0.30	33	34	0.47	0.45	13	15
308	0.23	0.23	51	53	0.44	0.43	16	17

Tabla 5. Valores de STI y %ALC; en dos condiciones a) y b), con dos espectros, el de voz masculina y el de voz femenina.

Edificio B Aulas	Ruido exterior, frente a 2 metros de la fachada			Ruido interior, puerta y ventanas abiertas			Ruido de fondo, puerta y ventanas cerradas		
	L _{Aeq} (dB)	L _{Amax} (dB)	L _{Amin} (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{Amax} (dB)	L _{Amin} (dB)	L _{Aeq} (dB)	L _{Amax} (dB)	L _{Amin} (dB)
201	68.1	79.1	63.0	59.3	72.1	53.9	43.4	57.7	36.5
212	68.9	85.0	60.8	59.0	75.1	51.1	43.6	55.9	35.6
213	70.1	89.9	61.8	59.0	79.6	50.7	44.2	59.5	37.0
215	69.4	83.3	61.6	59.6	74.4	51.4	47.2	59.8	39.5
224	68.1	79.7	62.2	58.0	73.2	51.3	43.0	60.7	36.5
301	69.4	77.4	63.5	61.3	68.1	55.1	44.7	58.3	39.4
302	70.2	86.6	62.7	63.1	79.4	55.7	48.1	62.1	42.2
305	71.0	91.1	64.7	63.3	84.0	56.6	46.9	68.2	40.3
306	67.7	88.9	61.2	60.4	81.1	53.1	49.2	61.8	42.8
308	66.9	84.3	61.0	58.0	70.9	51.6	44.9	60.3	39.3

Tabla 6. Niveles de presión sonora medidos dentro y fuera de las aulas, puerta y ventanas abiertas o cerradas

Edificio B Aulas	Diferencia de nivel estandarizada	Término de adaptación espectral, 100 – 5 000 Hz		Dimensiones de Aulas		
	D _{tr,2m,nT}	C	C _{tr}	Volumen m ³	Área fachada m ²	Altura m
201	32	-1	-3	159.81	21.82	2.79
212	28	0	-3	52.84	12.87	2.61
213	27	0	-2	18.89	6.71	2.41
215	24	0	-3	36.82	13.91	2.63
224	24	-1	-1	156.50	22.32	2.80
301	32	0	-2	201.48	22.20	2.80
302	23	0	-1	124.85	22.56	2.81
305	29	-1	-3	115.51	22.28	2.81
306	30	-1	-3	106.60	22.51	2.81
308	31	-1	-2	204.60	22.63	2.81

Tabla 7. Diferencia de nivel estandarizada, medida a 2m frente de la fachada de cada aula y término de adaptación del espectro, C y C_{tr} (100 - 5 000) Hz. [21].

Tabla 8. Dimensiones de las aulas del Edificio B UP-UNAM

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se observa en la tabla 2, que en todas las aulas estudiadas el TR disminuye cuando se abren puerta y ventanas, aunado a esto se ventila de forma natural. El TR aumenta al cerrarse puerta y ventanas, lo que significa que hay poca absorción en las aulas. Como los valores de TR y EDT son distintos, el diseño de las aulas es irregular y la ubicación de los materiales de acabado final no es equilibrada.

En la tabla 4, se muestran los valores de D50, se observa que para las aulas B212, B213 y B215 con puerta y ventanas abiertas los valores están por encima de 0.65 en todas las frecuencias, es decir, privilegia la inteligibilidad del habla, lo que no se cumple en las demás. En la tabla 5, se muestran los resultados del STI, donde se aprecia que, en el caso de aulas B212, B213 y B215 cuando la puerta y ventanas están cerradas la inteligibilidad es de nivel medio (no mayor a 0.6), para las demás aulas es pobre (0.39), esto empeora significativamente al abrir puerta y ventanas, cae de categoría a pobre y mala. Lo anterior, se correlaciona con los resultados del %ALC tabla 5, donde llega a estar hasta 59% (malo) en el caso de puerta y ventanas abiertas, pero al cerrar puerta y ventanas este índice se reduce hasta llegar a ser 7% con un nivel medio.

Al estudiar el L_{Aeq} (dB) tabla 6, observamos que a 2 m frente de la fachada de las aulas, el promedio es de 69 dBA; al interior con puerta y ventanas abiertas el promedio es de 60 dBA y con puerta y ventanas cerradas RF el promedio es 46 dBA; estos valores se encuentran 11 dBA por encima de los parámetros recomendados por la ANSI S12.60-2002 (USA), tabla 1, el cual es de 35 dBA. Lo anterior se correlaciona con la diferencia de nivel estandarizada de la fachada ($D_{tr,2m,nT,w}$), tabla 7, donde el valor promedio es de 28 dBA, insuficiente para atenuar el ruido exterior, situación que se agrava cuando se intenta conciliar las necesidades de ventilación de las aulas. También observamos que, la diferencia de nivel estandarizada tiene un mejor desempeño en las aulas B-201, B-301 y B308, que están ubicadas junto a los muros de concreto que son parte de la estructura del edificio, de esta forma la fachada tiene un soporte rígido.

Puede concluirse que los calificadores D50, STI y %ALC, se correlacionan entre sí, así como con los resultados de TR, EDT y D_{tr} dando una baja inteligibilidad del habla, influenciado negativamente por el ruido de fondo; provocado en buena medida por el intenso tránsito vehicular de avenida Insurgentes. El TR es elevado por los acabados y muebles del aula.

Conclusión final

Las aulas estudiadas, son prototipo de las construidas en la UP de la UNAM, no tienen las condiciones acústicas que garanticen una correcta comprensión del lenguaje hablado, dificultando el proceso de enseñanza – aprendizaje, lo que avala la encuesta de percepción [15], así mismo el diseño arquitectónico utilizado no provee suficiente protección contra el ruido de tránsito generado por la avenida cercana.

5. 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”. *Buildi 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, Zwirtes 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. Calixto López D. "Ruido Ambiental en la Arquitectura, caso de estudio: Unidad de Posgrado de la UNAM". Tesis de Maestría; Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura-UNAM, a Publicarse
16. Thiele R, Steeneken HJM. Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallrückwürfe in Räumen. Acustica 1953;3: 291–302.
17. H. J. M. Steeneken, T. Houtgast, "A physical method for measuring speech-transmission quality"; Journal of the Acoustical Society of America, 67, 318–326, 1980.
18. Application Note, Measuring Speech Intelligibility Using DIRAC 7841. Bruel & Kjaer, 2015
19. ISO 16283-3, Acoustics — Field measurement of sound insulation in buildings and of building elements — Part 3: Façade sound insulation.
20. Mikulski W., Rdosz J. "Acoustics of Classrooms in Primary Schools – Results of the Reverberation Time and the Speech Transmission Index Assessments in Selected Building" Archives of Acoustics, vol. 34(4), pp 777-793, 2011.
21. ISO 717-1, 2013, Acoustics — Rating of sound insulation in buildings and of building elements Part 1: Airborne sound insulation.