

**YO NO SÉ SI HABLO EN CHINO
O ES QUE LAS OREJAS DE LOS NIÑOS ESTÁN CERRADAS**

PACS: 43.71.-k.

Vera Guarinos, Jenaro; Yebra Calleja, Marisol; Calzado Estepa, Eva; Brocal Fernández, Francisco

Departamento de Física, Ingeniería de Sistemas y Teoría de la señal
Escuela Politécnica Superior de Alicante - Edif.: Politécnica II
Universidad de Alicante
Campus de San Vicente del Raspeig
Apdo: 99.
03080-Alicante
Tlf: 965 90 - 9756 / 9751
Email: jenaro@ua.es; myebra@ua.es; evace@ua.es; francisco.brocal@ua.es;

ABSTRACT

The behavior of a 'children classroom' from the results obtained in the C.P. Sta. Catalina in Salamanca city is analyzed. The study is based on the acoustic comfort tool "Speech Interference Level" so we seek, by a simple simulation implemented in a 'spreadsheet', which are the most favorable situations to be kept at a hearing regarding between teacher-student in a verbal relationship.

The need for action is assessed in terms of acoustic treatment against the possible improvements in intelligibility and comfort. The results show that the solution is not acoustic but organizational.

KEYWORDS: Classroom acoustic, Hearing impairment, Speech Intelligibility, Speech interference, Noise criteria.

RESUMEN

Se analiza el comportamiento de las 'aulas de infantil' partiendo de los resultados obtenidos en el C.P. Sta. Catalina de Salamanca. El estudio se hace en base a la herramienta de confort acústico "Speech Interference Level" de forma tal que buscamos, mediante una sencilla simulación implementada en una 'hoja de cálculo', cuáles son las situaciones más favorables para que se pueda mantener una relación auditivo-oral entre maestro-alumno-alumno.

Se valora la necesidad de las actuaciones en materia de acondicionamiento acústico frente a las posibles mejoras en la inteligibilidad y confort. Los resultados demuestran que la solución no es acústica sino organizativa.

PALABRAS CLAVE: Acústica del aula, Minsvalía auditiva, Inteligibilidad de la palabra, Criterios de ruido, SIL.

INTRODUCCIÓN

Se ha llevado a cabo una campaña de medidas de campo: determinación de la respuesta impulsiva del recinto y grabaciones de audio a lo largo de una sesión matinal de clase en el aula. A partir de esta acción y con ayuda de los planos arquitectónicos, se ha realizado un análisis con detalle cada una de las cuestiones que creo de interés para la evaluación de la inteligibilidad de la palabra o comprensión verbal. Y del que cabe resaltar lo siguiente a modo de resumen general:

1.- El tiempo de reverberación del aula en estudio, amueblada y sin alumnos, es de 0.6 segundos como promedio de las bandas de octava entre 500 Hz y 4000Hz; superior a lo que dicta el Código Técnico de la Edificación¹. Y también superior a las directrices de la normativa internacional².

2.- Tan sólo si se pudiera de asegurar un ruido de fondo (debido tanto a ruidos exteriores, interiores y a convivencia) como máximo de 40 dBA, sería posible que el discurso dentro del aula pudiese considerarse inteligible con índices entre 0.8 y 0.9, con un radio de acción de más de 6 metros y sin que el esfuerzo vocal (normal/alto) produzca desgaste. (en esta situación los alumnos con deficiencias auditivas tendrían posibilidad de discernimiento y participación activa)

3.- En la situación actual, únicamente cuando se cumple la premisa del punto anterior, es posible hablar de inteligibilidad. En cuanto haya un alumno que interfiera el discurso, ya sea de forma deliberada participativa o sin darse cuenta, con un nivel de voz 'relajado' el profesor tan solo y con voz 'elevada', tiene un radio de actuación útil de 0.8 metro a 1 metro. (lo que deja fuera de juego cualquier posibilidad de interacción positiva con los alumnos con discapacidad auditiva)

OBJETIVOS

Comprobar la adecuación de un aula (de infantil en particular) a la finalidad para la que está destinada: el aprendizaje, el desarrollo intelectual, la transmisión de conocimientos, la convivencia cívica. Teniendo en cuenta que todas esas cuestiones pasan por la interacción alumnos-profesor basada en la palabra hablada, es lógico que nuestro estudio valore los hitos en la comunicación auditivo-oral principalmente.

La intención final es, por otra parte, analizar cuál es el grado de bondad que se puede alcanzar en estas aulas para que la inclusión de niños con deficiencias auditivas pueda tener éxito relativo al menos. También se plantearán aquellas soluciones que creamos viables en el caso de que los resultados de las medidas 'in situ' muestren deficiencias.

PLANTEAMIENTO

Comenzaremos desvelando la naturaleza del universo acústico de este tipo de aulas en función del modelo de enseñanza que se desarrolle en ellas. Creo que será la única manera de entender la necesidad real de contemplar la problemática desde su verdadera dimensión que va más allá de la mecánica simple del acondicionamiento acústico clásico (que es lo que se hace cuando tan sólo nos preocupamos en procurar que, por ejemplo, el tiempo de reverberación esté por debajo de los 0.5 segundos y que el ruido de fondo que no supere los 40 dBA).

Lo usual es que en los colegios de enseñanza, en los niveles iniciales, lo que ocurre en el aula no sea del tipo de relación unidireccional (clases magistrales), ni creo que se pueda clasificar en la tipología participativa sino más bien en una mezcla pluridireccional de intercambios de

¹ Tomando éste como única normativa española en la que se hace referencia al tema (independientemente de que el citado código se haya promulgado con posterioridad a la construcción del colegio). En él se reconoce que los recintos educativos de la categoría de nuestra aula en cuestión deberían tener un tiempo de reverberación (T_R) con mobiliario y sin alumnos que fuera menor de 0.5 segundos.

² - ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1- en el apartado de reverberación, para un aula del volumen de la estudiada, se dice que el tiempo de reverberación sin alumnos debe de ser 0.3 segundos y para tamaños superiores 0.5 segundos.

información con algunos momentos de magia cuando los docentes logran canalizar la atención en una narración que explotará al final en un torrente de preguntas en ráfaga por parte de los alumnos. Eso es así y esta tormenta de comunicaciones es la semilla del aprendizaje que curso a curso ira normalizándose y ordenándose hasta conseguir que la comunicación sea secuencial, con respeto de turnos de palabra y reflexiva. Y esto suele coincidir con la estructura temporal o pauta en la que madura el proceso perceptivo y que acompaña la evolución del lenguaje en general; abriendo las puertas al desarrollo del conocimiento como intercambio de experiencias que los humanos de forma natural expresamos mediante la palabra.

La palabra es un bien adquirido que modelamos a partir de códigos acústicos definidos en el entorno sonoro de nuestras relaciones y esos códigos deben ser oídos para que exista la necesidad de la escucha: poder conocerlos y reconocerlos perceptualmente, para que se conviertan en imágenes sonoras cargadas de significados y así poco a poco comprender y poder construir un discurso que traduzca nuestro mundo de las ideas, emociones, sentimientos en palabras enlazadas, entrecruzadas en el paradigma que hace del habla la herramienta más potente en la evolución intelectual.

En resumen podemos decir que el lenguaje es una bolsa de signos. Entendido el lenguaje como el código que se usa en todo proceso de relación y transmisión de conocimientos. El lenguaje es un sistema de signos que expresan ideas.

Y justo en la escuela, más aún al nivel de “infantil y primaria”, nos encontramos en el momento donde empieza la aventura del desarrollo intelectual. En este periodo de tiempo es precisamente cuando se ha de realizar la transición intelectual más importante para los humanos: desde ‘Oír’ a ‘Comprender’ mientras jugamos a ‘Escuchar’ y luchamos por ‘Entender’ (analizando el proceso perceptivo sonoro desde la taxonomía planteada por Pierre Schaeffer en las “Quatre Écoutes”). [1]

Lo que encontramos en el aula, como ya hemos apuntado, es que la comunicación es pluridireccional y en escasos momentos existe un orador solitario o si existe rara vez se puede evitar que en algún punto del aula haya un grupo, o un individuo, que hable simultáneamente (ruido intruso o de interferencia). Este hecho, que es natural y en ningún momento pienso que se deba de evitar, hace que las aulas de primaria puedan llegar a ser lugares hostiles para el desarrollo y adquisición del lenguaje, pero de la misma forma son el lugar natural e idóneo para que se provoque la relación e intercambio de ideas, en fin, se produzca la convivencia que es la razón de ser o existir de la palabra en primera instancia. Por lo que en el caso de alumnos con deficiencias auditivas, la solución óptima como veremos sobrepasa la responsabilidad de un buen acondicionamiento arquitectónico de los recintos (en otras palabras esta por encima de las soluciones técnicas, se debe de empezar a pensar en soluciones organizativas).

Para intentar entender la problemática acústica y el grado de inteligibilidad o de comprensión de la palabra que es posible encontrar en un aula, se va a estudiar de forma objetiva el campo acústico teórico con ayuda de una herramienta de simulación (SIL-UA) que proporciona el nivel de interferencia conversacional que existe en un recinto en función del número de oradores y la distancia a la que se encuentran del receptor problema. [2]

Con esta herramienta seremos capaces de determinar cuál es la distancia mínima a la que se deben de posicionar dos interlocutores para que, y en función del nivel de esfuerzo vocal, sea posible hacerse entender sobre el ruido ambiente que genera un grupo de posibles hablantes simultáneos en el mismo recinto. Para ello se tiene en cuenta el nivel de potencia del habla, la reverberación del local y como ya se ha dicho las distancias relativas del oyente problema al resto de oradores potenciales. Como resultado obtenemos, en las cuatro bandas de cálculo del SIL (500, 1000, 2000, y 4000 Hz), el campo acústico recibido por vía directa y el nivel reverberado correspondiente, que sumados nos darán el nivel de ruido en el que estamos inmersos. A partir de estos valores se calcula la distancia a la que debemos colocarnos del oyente problema, en función de la potencia del habla usada, para que éste sea capaz de

extraer información útil de nuestro mensaje, es decir: que sea inteligible sobre el ruido ambiente. Como apoyo adicional para ayudar en el transcurso de las interpretaciones de cada caso se muestra también el valor máximo de inteligibilidad posible en el caso de una situación de clase magistral y sin ruido de fondo, mediante el valor del RASTI, lo que se calcula a partir del tiempo de reverberación. Será de gran utilidad, a la hora de aventurar posibles soluciones, hacer un análisis de los niveles recibidos 'directo' y 'reverberante' por separado entendiendo que tanto uno como otro se deben de considerar como ruido intruso no deseado.

CASOS DE ESTUDIO

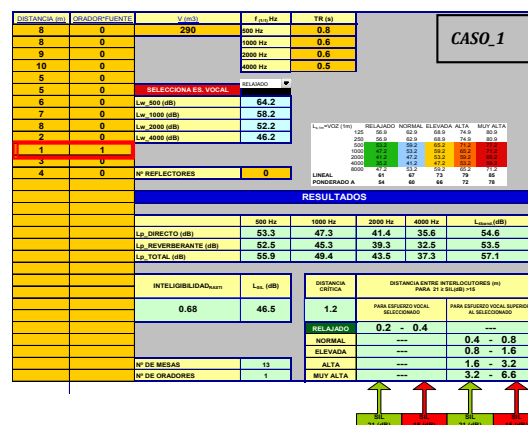
Veamos a continuación una serie de situaciones que podrían darse en un recinto de características similares al aula estudiada:

- ✓ Geométricas: Largo = 9.3 m; Ancho = 9.0 m; Alto = 3.5 m; Volumen = 290 m³
- ✓ Acústicas: T_R(31,5Hz) = 1.2 s; T_R(63Hz) = 1.2 s; T_R(125Hz) = 0.8 s; T_R(250Hz) = 0.8 s
 T_R(500Hz) = 0.8 s; T_R(1kHz) = 0.6 s; T_R(2kHz) = 0.6 s; T_R(4kHz) = 0.5 s
 T_R(8kHz) = 0.5 s
- ✓ Ocupación: 26 alumnos.
- ✓ Ubicación: Planta primera. Ventanas a derecha de la mesa profesor a calle tranquila. Ventanas a la izquierda patio de recreo. Puerta a pasillo distribuidor.
- ✓

Se va a estudiar el problema aún en condiciones que no son las ideales (lo que quiere decir que se admite la presencia de ruido distinto del que se viene considerando en las normativas; como son el ruido transmitido a través de los cerramientos y el ruido de aparatos de ventilación, acondicionamiento o de las infraestructura de iluminación o multimedia. Es por lo que, como veremos, el problema deja de ser puramente arquitectónico, y el único camino que nos queda por seguir es disminuir la distancia entre orador y 'receptor problema' de forma que se pueda alcanzar una relación señal/ruido (entre 12 y 15 dB) suficientemente amplia como para lograr inteligibilidad (lo que determinamos contemplando valores de SIL entre 15 y 21 dB para normo-oyentes; entre 21 y 25 dB para alumnos con deficiencia auditiva no severa³). [3]

Caso_1

A 1 metro del 'receptor problema' existe otro alumno que esta hablando con un nivel de voz relajado. La hoja de cálculo nos ofrece la siguiente respuesta: Si quiero hacerme entender sin problemas⁴ y en el caso que usara la misma potencia que el alumno parlanchín, debería de colocarme a una distancia entre 0.2 y 0.4 metro. También podría hacerme entender desde 1 metro de distancia pero entonces tendría que elevar mi nivel de habla a 'elevado' cerca de los 66 dBA, como puede comprobarse unos 12 decibelios por encima del nivel que está usando el alumno. A pesar de que el RASTI en esta caso es de 0.68 (buena inteligibilidad)⁵ es evidente que la posibilidad de comunicación en este caso se puede decir que es casi imposible:



³ Valores de SIL superiores a 21 dB no se proponen puesto que no parece que sean viables conseguir en situaciones reales donde como mínimo existe un ruido de convivencia y medioambiental: rumores, cucuicheos, lápices, sillas y ruido exterior; la suma con normalidad alcanza valores entre 40 y 50 dBA; lo que implica L_{SIL} = L_A - 8 = 38 a 42 dB. Calculemos ahora las distancias correspondientes a L_{SIL} = 38 dB y L_{SIL} = 42 dB que son respectivamente: 1.4 metros y 1.0 metro para que el índice SIL sea de 21 dB. Por lo que si planteáramos tener un SIL de 25 dB necesitaríamos colocarnos a distancias todavía más cortas (1.0 m y 0.6 m). Todo esto está calculado suponiendo que como mucho existen rumores o cucuicheos (voz muy baja) y en zonas alejadas por parte de los alumnos.

COMPRESIÓN	INTELIGIBILIDAD	IAIS	SIL (dB)
> 96%	Excelente	0.95	21
85%	Buena	0.75	15 a 21
75%	Satisfactoria	0.65	10 a 15
< 65%	Escasa	< 0.57	3 a 10

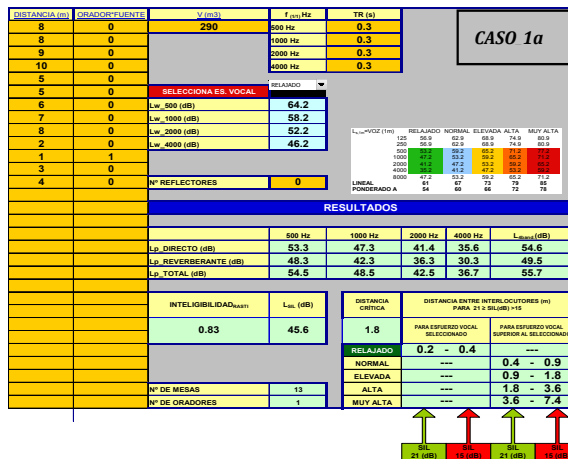
Inteligibilidad	Índice RASTI
Muy Pobre	0 a 0.3
Pobre	0.3 a 0.45
Aceptable	0.45 a 0.60
Buena	0.60 a 0.75
Excelente	0.75 a 1

haría falta usar un nivel 'muy alto' para tener una distancia de interlocución de 6.6 metros en el caso de normoyentes y como máximo a 3.2 metros para casos de deficiencia auditiva. No debemos perder de vista que se está suponiendo que el ruido de interferencia lo produce solo un alumno cuando lo normal es que haya más participantes ocasionales.

Para profundizar un poco, ahora que estamos ante un ejemplo sencillo, podíamos ver que es lo que ocurre en otras situaciones suponiendo que hacemos (arquitectónicamente) lo único que podemos hacer; cambiar el tiempo de reverberación de la sala actuando sobre los acabados superficiales y elementos de la sala.

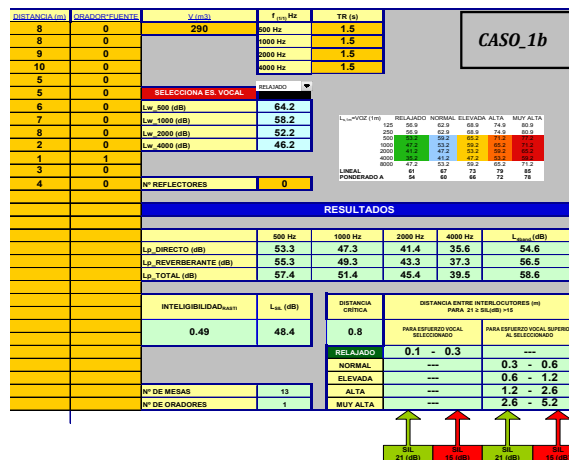
Caso_1a

En esta situación (Tr de 0,3 segundos, con lo que tendríamos un aula ideal estándar) se puede esperar que la parte de campo acústico reverberante disminuya de forma ostensible, tal como podemos comprobar en la hoja de cálculo, alrededor de 2 decibelios cuando menos. Esto contribuye a mejorar el índice general de inteligibilidad hasta alcanzar un grado de 0.83 'excelente' pero si nos fijamos en el resto de parámetros apenas existe variación. Eso lo que demuestra es que si en ambiente ruidoso tengo que hacerme entender; siempre tendré que hablar 12 decibelios por encima del nivel de lo que está considerado ruido en cada caso. Y a pesar de que el RASTI haya mejorado ostensiblemente el nivel de interferencia está gobernado por el hablante ocasional que frustra con su cháchara la posibilidad de aprovechar las buenas condiciones acústicas que sólo serían de utilidad en un aula de uso unidireccional o bidireccional en secuencia, en el momento que se produce una intrusión por leve que parezca la situación es igual de mala con 0,3 segundos de reverberación que en el caso anterior de 0,68 segundos.



Caso_1b

Planteamos unas condiciones de las más desfavorables (Tr de 1,5 segundos, que es lo que un recinto con esas dimensiones podría llegar a tener en el peor de los casos) y aparte de disminuir de forma drástica la inteligibilidad (RASTI de 0.49) rozando la calificación de 'pobre', el campo reverberante supera al directo (distancia crítica por debajo de la distancia entre orador-receptor). Con todo, nos podemos relacionar oralmente consiguiendo estar 12 dB por encima del ruido casi en la misma distancia que en los dos casos anteriores: si con voz relajada a 10 centímetros. Si a 1 metro la voz debería ser elevada-alta, muy similar a lo obtenido en los dos ejemplos anteriores aunque levemente peor.



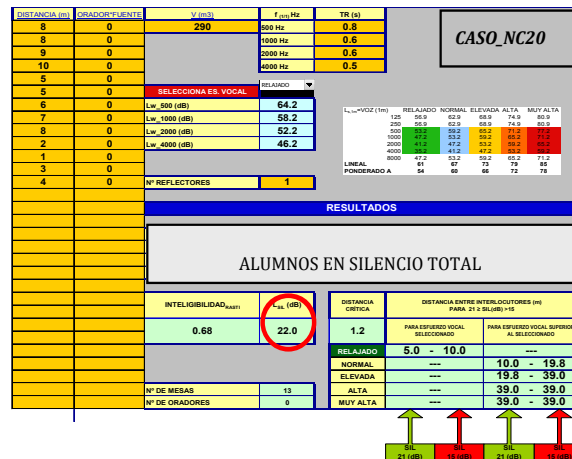
Podríamos decir que independientemente del acondicionamiento, si la situación es tal que hay ruido de un nivel apreciable tal como ocurre en las aulas de enseñanza, especialmente en las

de primaria, la cuestión pasa por controlar distancias y el nivel de voz usado. Y aún así los resultados no son nada satisfactorios, ni para la comprensión del alumno ni para las cuerdas vocales del profesor.

En las próximas páginas vamos a suponer que todos los alumnos están en silencio, por lo que podemos asumir que el L_{SIL} tendrá el valor del ruido de fondo recomendado por los estándares acústicos. Por ello vamos a elegir como referencia lo que dicta el criterio de ruido NC para aulas [35 dBA (NC25), lo que es un $L_{SIL} = L_A - 8 = 27$ dB] y propondremos un estándar mejorado 5 dB tal como el de estudios de grabación considerando que sería el ideal para niños con problemas de audición e implantados [30 dBA (NC20), lo que es un $L_{SIL} = L_A - 8 = 22$ dB]. Para obtener resultados que sean coherentes con el análisis hemos transformado la hoja de cálculo original para que nos de una apreciación de cual sería la distancia a la que podríamos mantener una comunicación verbal con los alumnos si estos se mantuvieran en silencio absoluto. [4]

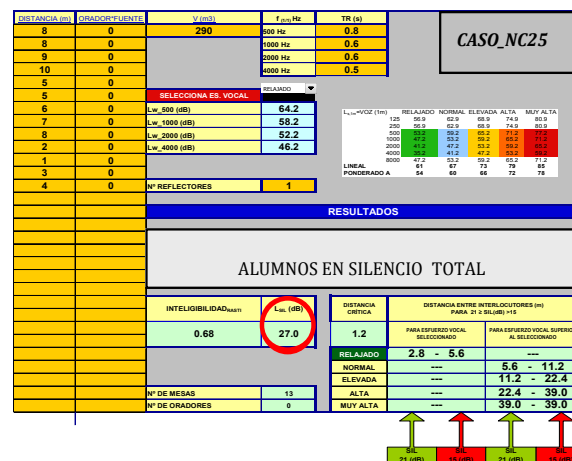
Caso_NC20

Con este nivel de Ruido de fondo casi utópico $L_A=30dBA \Rightarrow L_{SIL}=22dB$ – (Alumnos totalmente en silencio) Se puede comprobar que usando un nivel de voz ‘normal’ se puede conseguir una inteligibilidad ‘excelente’ a una distancia radial de hasta 10 metros, lo que para un aula con una distancia máxima (diagonal) de unos 9 metros es un resultado excepcional. En cualquier caso se puede tener una buena dinámica vocal y el aula funcionaría a la perfección aunque los valores de RASTI (0.68) no sean excelentes (que es lo que suele ocurrir habitualmente en todas las construcciones escolares).



Caso_NC25

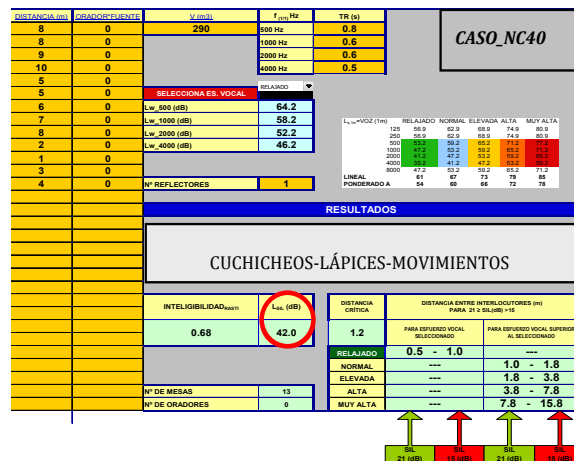
Vamos a plantear una situación un poco más real, aunque $L_A=35dBA \Rightarrow L_{SIL}=27dB$ sigue siendo un valor difícil de encontrar, pues reitero que los ruidos y situaciones cotidianos con las condiciones arquitectónicas habituales producen valores de ruido de fondo mayores. En este caso se comprueba que el radio de actuación para un esfuerzo vocal normal disminuye a 5.6 metros, lo que puede ser una distancia muy corta si la clase se distribuye uniformemente por los pupitres, teniendo que recurrir a tener que elevar el nivel de voz si se quieren alcanzar los resultados del caso anterior. Pero podemos aventurar que para una enseñanza como la que acontece en nuestra aula puede ser suficiente, puesto que la actividad se realiza de forma dialogada en grupo distribuido como una piña en derredor del docente.



Caso_NC40

En este ejemplo vamos a tomar como ruido de fondo 50 dBA que se suele tomar como normal en un aula con cuchicheos y ruidos leves de convivencia [50 dBA (NC40), lo que es un $L_{SIL} = L_A - 8 = 42 \text{ dB}$]. [5], [6]

Los resultados que se obtienen en esta situación que podríamos considerar como la más probable estadísticamente hablando o más ajustada a la realidad, no son del todo satisfactorios desde la óptica de que las aulas deberían de ser capaces de alcanzar tan buen comportamiento como los alumnos mas desfavorecidos necesitan, se deberían de valorar desde las exigencias de un L_{SIL} de 21 dB. Lo que obliga a los docentes a tener que hacer uso de niveles de voz entre alta y muy alta para conseguir un alcance promedio de apenas 8 metros. Este resultado constata el hecho cada vez más patente de las disfunciones fisiológicas que sufren los profesionales de la enseñanza sobre todo en los niveles de escolarización más elementales. No es una situación recomendable puesto que la calidad del proceso de comunicación recae directamente en un esfuerzo superior al aconsejable para un funcionamiento normal de la herramienta de trabajo que es el aparato fonador en este caso.

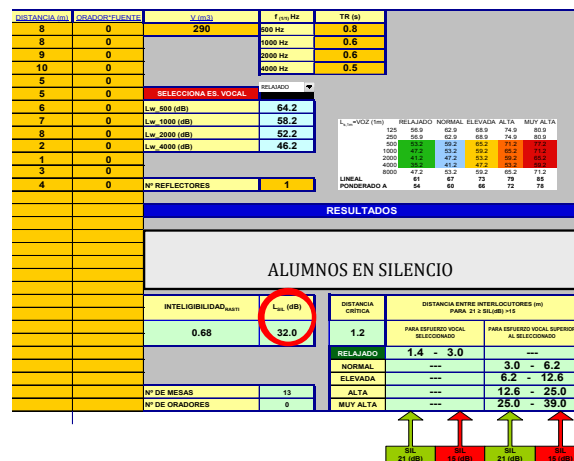


A la vista de los resultados de estos casos creo que es el momento de recordar o subrayar que bajo estas condiciones, entre excelentes y normales, es cuando se puede empezar a hablar objetivamente de los valores de inteligibilidad o RASTI y de la necesidad de tener acotados los tiempos de reverberación al menos por debajo de 0.8 segundos como es el caso.

Caso_Final

Vamos a dar por concluido esta parte del estudio buscando cuál podría ser el valor máximo de ruido de fondo que podemos permitir en un aula con los alumnos en silencio.

Haciendo uso de la calculadora SIL-UA vemos que si queremos minimizar el esfuerzo vocal máximo para que esté en unos límites aceptables para la salud humana, se puede elegir 'voz elevada' (66 dBA a 1 metro). Además con dicho esfuerzo es posible comunicarse con un radio de efectividad de 7 metros aproximadamente; que puede ser una distancia de acción máxima muy usual en las dimensiones de los recintos de clase. Por otra parte se tendría que asegurar que el aislamiento, los ruidos de renovación de aire junto con las actividades y movimientos de convivencia no sobrepasaran en total (ruido de fondo) el valor de 40 dBA, lo que nos da un $L_{SIL} = 32 \text{ dB}$.



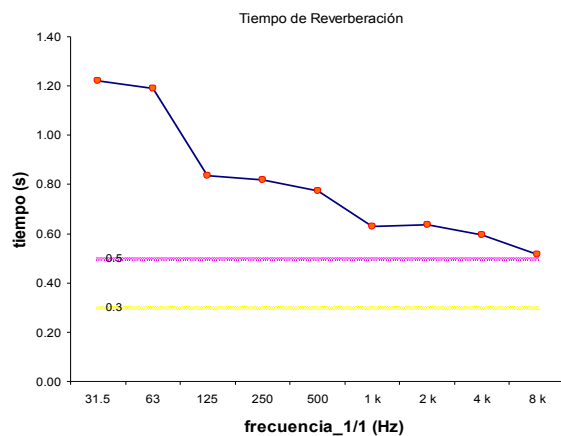
Esto quiere decir que lograríamos un SIL de 21 dB en los 6.2 metros y de 15 dB hasta los 12.6 metros. Creo que con estas condiciones un aula de enseñanza funcionaria perfectamente en la modalidad tanto magistral como multidireccional secuencial con los alumnos en silencio. Podríamos etiquetar este caso como: **CASO_NC30** ⇒ $L_A = 40 \text{ dBA}$ ⇒ $L_{SIL} = 32 \text{ dB}$ – (alumnos en silencio).

ANÁLISIS MEDIDAS DE CAMPO

Una vez que hemos hablado de la situación general desde un punto de vista teórico y global, vamos a analizar los resultados de las grabaciones y medidas que se llevaron a cabo en el colegio. Se determinó el tiempo de reverberación del aula sin la presencia de alumnos que usaremos para estimar su calidad según los estándares al uso (Código Técnico Edificación) [7] y bibliografía especializada.

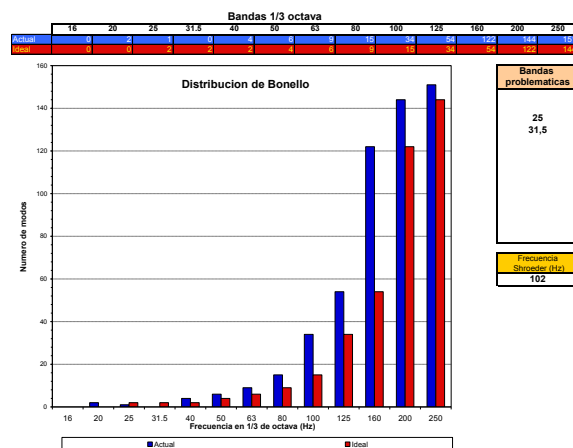
Tiempo De Reverberación

Como nuestra aula tiene un volumen de 290 m³ el tiempo de reverberación debe de ser 0,5 segundos como máximo, lo que proporcionaría una inteligibilidad buena-excelente. Para el caso que estamos tratando se debería intentar que, con ocupación, rondara los 0.3 segundos y así tener un aula de excelente respuesta para la comunicación oral secuencial-multidireccional, aunque de todo lo dicho anteriormente al referirnos al SIL se desprende que eso no evitará que en situaciones de algarabía o de múltiples oradores simultáneos la inteligibilidad tan solo se pueda mantener a duras penas si se está a la distancia adecuada y con el nivel de voz necesario.



Modos Propios Y Criterio Bonello

Cabe resaltar y parece evidente por los resultados obtenidos en las bandas por debajo de 500 Hz que existe cierta coloración. Las voces graves aparecerán resaltadas en esta habitación. Para comprobar la magnitud del problema se ha analizado la estructura de los modos de resonancia naturales en función de las dimensiones geométricas de la sala (9.0 x 9.3 x 3.5). Para ello estudiamos la densidad modal por frecuencias haciendo uso del criterio de Bonello por debajo de la frecuencia de corte de Schroeder, lo que ayuda a discriminar de forma relativamente sencilla el tipo de campo acústico en el interior de una habitación. De dicho análisis se obtiene que el rango de frecuencias donde los modos propios van a tener una influencia que pueda ser susceptible de control alcanza hasta los 100 Hz, por encima de esta frecuencia no debemos preocuparnos de los modos propios puesto que se asegura una densidad uniforme y monótona creciente. Por lo que no existe una razón de peso para pensar que las bajas frecuencias sean problemáticas por causas geométricas. Del diagrama de Bonello que se muestra en la figura siguiente tan sólo se puede deducir que si que existe cierta coloración en una de las bandas que aparecen como problemáticas, las resaltadas en la imagen pero pensamos que esas bandas por su bajo rango y escasa relevancia en el habla carece de importancia. Como conclusión y en función de los resultados y la experiencia de campo "in situ" aconsejaríamos intentar forzar el aumento de material absorbente que trabajara por debajo de 250 Hz para evitar que la voz de los adultos aparezca demasiado grave.



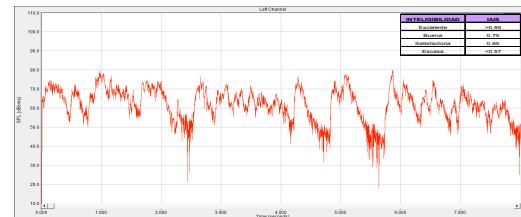
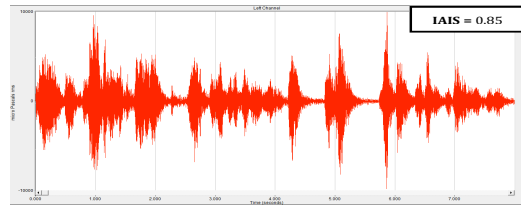
Índice Articulación In Situ (IAIS)

Para finalizar se ha realizado el cálculo del Índice de Articulación aplicando un software desarrollado por la UA a las grabaciones realizadas durante una sesión de clase. [8], [9]

Ambiente ordenado comunicación secuencial

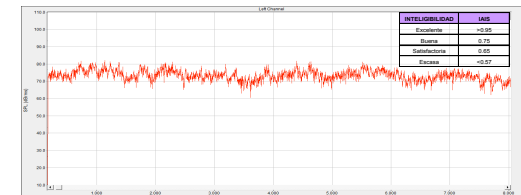
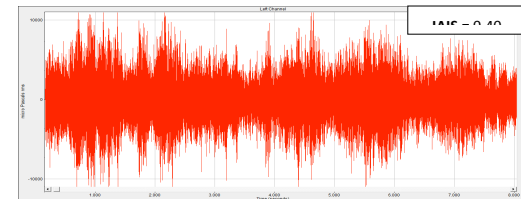
Si analizamos los periodos donde el discurso de la profesora o las intervenciones de los niños ocurren de forma más o menos ordenada; el **IAIS** está entre 0.70 y 0.85 lo que es un resultado de ‘buena’ a ‘excelente’ inteligibilidad.

Se puede ver en la figura anterior que la dinámica de la señal es relativamente buena, lo podemos comprobar en la historia temporal de los niveles de presión sonora, entre 20dB y 80dB (señal no calibrada), que mostramos en la ilustración siguiente. Hay que recordar que la inteligibilidad está fuertemente condicionada a la relación señal/ruido.



Ambiente confuso comunicación arbitraria

Si en cambio aplicamos el software a un periodo de especial algarabía, obtenemos (**IAIS = 0.40**), es evidente que en tal ambiente exista la posibilidad de comprensión verbal y de hecho el límite para poder hablar de comprensión se marca en 0.57 para IAIS.



Aquí se puede aventurar con una sola mirada que esta señal será de peor inteligibilidad, apenas hay un hueco en la historia temporal, los niveles totales apenas fluctúan, y se puede comprobar que el valor del Leq casi se mantiene continuo entre 70dB – 80dB.

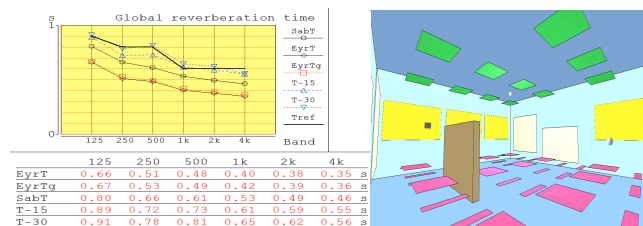
Lo que viene a corroborar lo dicho con anterioridad en otro tipo de análisis: que si el ruido ambiente se mantiene bajo como se ha visto en el primer ejemplo de esta sección, es posible que el docente tenga un discurso inteligible, mientras que en caso contrario cuando el ambiente lo gobierna las conversaciones cruzadas incontroladas su capacidad de posible entendimiento disminuye drásticamente como se muestra en la segunda grabación.

SIMULACIÓN DEL RECINTO

Antes de finalizar vamos a mostrar los resultados que se han obtenido al modelar el recinto con CATT_Acoustic, a partir de los datos geométricos y usando como calibración los tiempo de reverberación “in situ”.

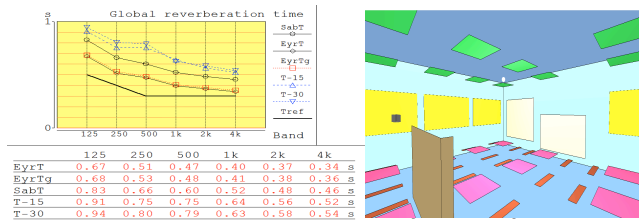
Modelo Calibración

En este caso que hemos calibrado usando los tiempos de reverberación medidos sin alumnos “in situ”. Las unidades de absorción [UA= Σ(S•α)] para esta situación son aproximadamente 75 sabines-métricos.



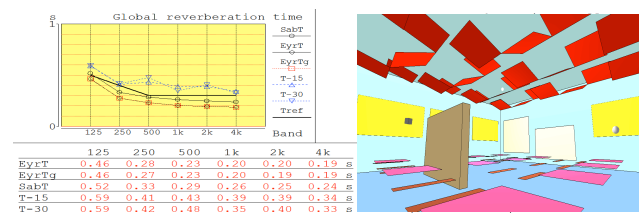
Modelo Con Niños

En este caso lo único que hemos añadido es el coeficiente de absorción de los asientos simulando que están ocupadas por niños. Vemos que apenas varían los resultados: las unidades de absorción han aumentado 35 sabines. Como la curva de reverberación ideal la hemos ajustado a 0.3 segundos entre 500 Hz y 4000 Hz todavía necesitaremos conseguir 46 unidades más.



Modelo Acondicionado

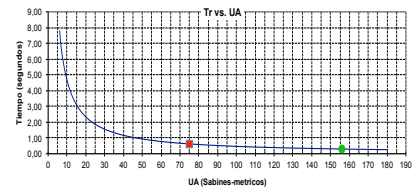
En este último caso se aumenta la superficie de las velas y el material del techo en lo posible. Se comprueba que baja un poco la reverberación pero sigue sin alcanzarse los 0.3 segundos deseados.



Discusión del comportamiento de la reverberación frente a las unidades de absorción

La problemática a la que nos enfrentamos (tiempo de reverberación variando muy lentamente) se puede explicar observando la curva del comportamiento del T_R frente a la absorción equivalente UA.

Se puede ver que partiendo de 75 UA -marca roja- si queremos alcanzar los 0.3 segundos (≈ 156 UA) -marca verde- para el tiempo de reverberación: necesitamos la misma cantidad de absorción que la que había de forma natural en el aula al principio.



Si nos fijamos en la forma de la curva podemos decir que dicha 'marca verde' está en una zona cuya asíntota es muy horizontal, lo que implica que es muy difícil (se necesita mucha absorción relativa) hacer que el tiempo de reverberación disminuya. No se debe pensar que es imposible sino que hay que hacer una inversión más radical que la propuesta por nosotros. Tendríamos que actuar sobre las partes de las paredes que encontremos desnudas.

CONCLUSIONES

Aparte de las que hemos mencionado en la introducción a modo de resumen general, se puede decir que:

- 1.- La sensación que produce la voz de los adultos en el aula (se escucha como más grave de lo que estamos acostumbrados a oírlos) eso es debido a que la reverberación en la zona de frecuencias graves por debajo de 500 Hz el tiempo de reverberación es más elevado de lo aconsejable. Se debería actuar en este sentido.
- 2.- Es necesaria una actuación drástica en el acondicionamiento para poder bajar los niveles de reverberación a 0.3 segundos. Pues aunque el tamaño del recinto puede parecer pequeño, del mismo modo la superficie donde actuar con la absorción es escasa y aún más con la cantidad de huecos acristalados que tiene. Se recuerda que se necesitan la misma cuantía de unidades de absorción que se tienen en la actualidad.
- 3.- Para la inclusión de alumnos con deficiencias en aulas de este estilo, se debe de mejorar el acondicionamiento como mínimo hasta que se alcancen los valores aconsejados/obligatorios. Una vez que esto sea así, como no se va a poder conseguir de forma continuada que los alumnos estén en silencio total, se debe trabajar en que la participación en clase sea sosegada

y secuencial, sin alborotos y atropellos parlanchines. Este logro no se consigue de forma rápida pero una de las mejores formas de conseguir que el nivel de voz de un grupo de hablantes disminuya es: que la habitación no devuelva soporte reverberante. Luego se puede empezar a inculcar el respeto de turnos de palabra, la no intrusión, el aprender a escuchar; esto es así por que primero tiene que desaparecer el intruso por antonomasia que es la reverberación: que funciona a destiempo, sin pedir permiso, que no te escucha y que repite lo mismo que tú has dicho. Y a este intruso no se le puede educar, pero si que lo podemos hacer casi desaparecer.

4.- Con todo, las precauciones que debemos de adoptar son importantes especialmente en el periodo de la adquisición de estrategias cognitivas para la adquisición del lenguaje. Y creo que no debemos dejar esta cuestión al azar del buen o mal funcionamiento de un grupo de clase. Para los alumnos con dificultades auditivas no transitorias se debe de establecer un protocolo, como pienso que ya existe, donde se contemplen soluciones particularizadas a cada problemática y se palien las deficiencias que se pueden producir en la adquisición y desarrollo del lenguaje: logopedia, foniatría, etc.

REFERENCIAS

[1] Schaeffer, P., *TRAITE DES OBJETS MUSICAUX. Essai Interdisciplines*. 1998. Editeur: Seuil. Collection : pierres vives, ISBN: 2-02-002608-2,

[2] Yebra Calleja, M., Bleda Pérez, S., Vera Guarinos, J., Francés Monllor, J., Brocal Fernández, F., *Evaluación De La Comunicación Verbal: Inteligibilidad, Herramientas De Cálculo Tecniacústica* 2008, Coimbra, Portugal.

[3] UNE-EN ISO 9921. *Ergonomía. Evaluación De La Comunicación Verbal*. (mayo de 2004)

[4] ANSI/ASA S12.60-2010/Part 1: *Permanent Schools. Performance Criteria, Design Requirements, And Guidelines For Schools*.

[5] McCarty, P. and Rollow J., (*LAUSD*) *Study*.
<http://www.classroomhearing.org/acoustics.html> (consultado en 2014)

[6] Crandell, C.C., Smaldino J.J., *Classroom Acoustics For Children With Normal Hearing And With Hearing Impairment*
http://gofrontrow.com/files/documents/background_research_classroom_acoustics_for_children_with_normal_hearing_and_with_hearing_impairment.pdf (consultado en 2014)

[7] DB-HR CTE

[8] Yebra Calleja, M., González Etxabe, I., Vera Guarinos, J. *Método Para La Evaluación Objetiva De La Inteligibilidad En Salas De Palabra "IAIS": Planteamiento (Parte I)*. Tecniacústica 2005

[9] Yebra Calleja, M., González Etxabe, I., Vera Guarinos, J. *Método Para La Evaluación Objetiva De La Inteligibilidad En Salas De Palabra "IAIS": Resultados (Parte II)*. Tecniacústica 2005