



Estrategias para mejorar la audibilidad en el aula

Franz Zenker

Psicólogo • Especialista en Audición y Lenguaje.

*Clínica Barajas • Fundación Canaria para la Prevención de la Sordera.
Santa Cruz de Tenerife. Islas Canarias. España.*

Resumen

La recepción y percepción del habla en personas con discapacidad auditiva depende en gran medida del grado y etiología del defecto auditivo. Las condiciones acústicas en las que se lleva a cabo la comunicación influyen de forma determinante en la inteligibilidad del lenguaje hablado. Pérdidas auditivas leves y ligeras pueden comprometer severamente la percepción en entornos ruidosos o reverberantes.

Para comprender el efecto devastador de una acústica pobre en un alumno con discapacidad auditiva debemos de analizar tanto los factores físico acústicos del aula como los aspectos psicolingüísticos y sensoriales del alumno. Tradicionalmente los estudios sobre acústica en entornos con una visión de las ciencias físicas exclusivamente asumen una audición, aptitudes y capacidades de percepción lingüísticas normales y similares entre todos los oyentes. Sin embargo, las necesidades de audibilidad del habla en sujetos hipoacúsicos son mayores que las necesidades de los niños normoyentes. Así mismo, las necesidades de los niños normoyentes, en etapas de adquisición de nuevo vocabulario, son mayores que la de los adultos. En condiciones ambientales similares, la dificultad del lenguaje expresivo empleado en el aula, así como las aptitudes sensoriales y lingüísticas de cada alumno, dan como resultado puntuaciones de inteligibilidad significativamente diferentes.

La visión que proponemos sobre la acústica del aula toma como principal parámetro el rendimiento lingüístico del alumno de forma individual. Los aspectos psicolingüísticos aportan información crítica a la hora de modelar y mejorar la audibilidad del aula. Las variables físicas y arquitectónicas no deben ser las únicas estudiadas y deben adaptarse a las necesidades audiológicas de los individuos. Los factores físicos no deben suponer una barrera añadida a las necesidades de aprendizaje de los alumnos con algún tipo de discapacidad. En esta presentación revisaremos el análisis y procedimientos de intervención a la hora de mejorar la audibilidad e inteligibilidad de alumnos hipoacúsicos y normoyentes atendiendo tanto a factores fisicoacústicos como psicolingüísticos.

INTRODUCCIÓN

La comunicación a través del lenguaje hablado compromete una serie de eventos tal como podemos observar en la Figura 1. Un aspecto crítico en el acto de comunicar es la transmisión efectiva del sonido desde el hablante hasta el oído del oyente. Esta transmisión puede ser facilitada o entorpecida por las características acústicas del medio en el que se lleve a cabo la comunicación. En esta revisión estudiaremos la influencia de la acústica sobre la recepción del habla. Así mismo revisaremos como podemos aprovechar la información derivada de la recepción del habla para hacer estimaciones acerca de la percepción final del habla.

Cuatro factores vinculados a la acústica de salas determinan de forma especial la percepción del lenguaje hablado. Estos factores son: el espectro

del habla, la distancia, la reverberación y el ruido de fondo.

El Promedio del Espectro del Habla

El promedio del espectro del habla a largo plazo o LTASS (Long Term Average Speech Spectrum) es una medida de las características acústicas de la señal del habla a través del muestreo y promediado de la intensidad sonora en función de la frecuencia. El LTASS puede expresarse a través de varios parámetros:

Intensidad a largo plazo promediada. Esta medida se obtiene a un metro de distancia de los labios del hablante. El promedio se lleva a cabo durante unos 10 o 20 segundos con un esfuerzo vocal normal. La intensidad a largo plazo promediada es de aproxima-

damente unos 70 dB SPL. Este valor se obtiene a partir de la media de la intensidad en todas las bandas de frecuencia que forman el espectro del habla.

Promedio del espectro a largo plazo. En la figura 2 observamos el promedio del habla registrada en bandas de 1/3 por octava durante 2,30 minutos colocando un micrófono a 30 cm enfrente del hablante. La señal registrada es promediada mediante un analizador de espectro y finalmente representada como una curva de intensidad de la señal en función de la frecuencia. La mayoría de estudios sobre el LTASS se han llevado a cabo en grupos atendiendo a variables de clasificación como el sexo, la edad o el esfuerzo vocal. El LTASS muestra un pico de mayor concentración de energía entre las frecuencias de 250 Hz a 630 Hz como resultado de la contribución del primer formante del habla en adultos. A partir de los 500 Hz la intensidad decrece entre 5 y 6 dB por octava hasta los 4000 Hz. Los registros del LTASS se diferencian claramente en función del sexo. La media de la intensidad total promediada en varones adultos es 2.3 dB mayor que el nivel promediado para el grupo de mujeres adultas. Dada la contribución de la frecuencia fundamental de las voces masculinas esta diferencia se hace más evidente en la región de las bajas frecuencias a partir de los 200 Hz.

Variaciones a corto plazo. Los registros del LTASS pueden llevarse a cabo en intervalos cortos de tiempo

similares a los tiempos de integración del oído humano (50 a 100 msec). La intensidad varía en estos casos alrededor de 30 dB.

De estos hallazgos se puede concluir que la utilización de un sólo número para representar el LTASS puede inducir a error. Gran parte de la información específica en frecuencia del habla está a intensidades por debajo del promedio especialmente en las altas frecuencias por lo que recomendamos tener siempre como referencia el rango total del espectro del habla.

El Efecto de la Distancia

La distancia entre el hablante y el oyente determina la intensidad total que finalmente es percibida. En general, la caída que se produce en la intensidad es de aproximadamente 3 dB cada vez que se dobla la distancia. Por ejemplo, si el promedio de la intensidad del habla es de 70 dB SPL a 1 metro, entonces será 68 dB SPL a 2 metros, 66 dB SPL a 4 metros y así sucesivamente.

LA REVERBERACIÓN

En espacios cerrados, el oyente, además del percibir el habla directa, recibe la reverberación que se produce por las reflexiones de las ondas sonoras sobre las paredes de la habitación. Durante la generación

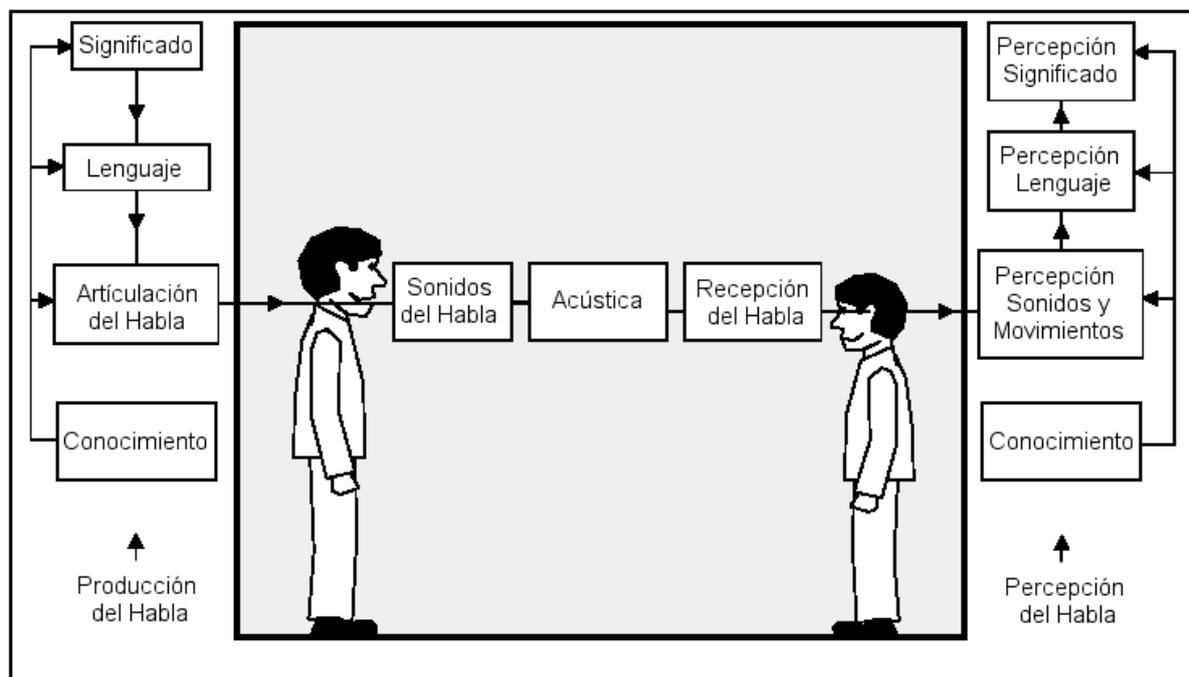


Figura 1: Las propiedades acústicas del entorno influyen en la inteligibilidad del mensaje durante el acto de comunicarse. En la percepción final del habla además de las variables acústicas propias de la sala influyen aspectos de competencia lingüística y salud auditiva del oyente. Unas condiciones acústicamente óptimas para un normoyente puede ser muy deficientes en el caso de una persona con una discapacidad auditiva incluso ligera.

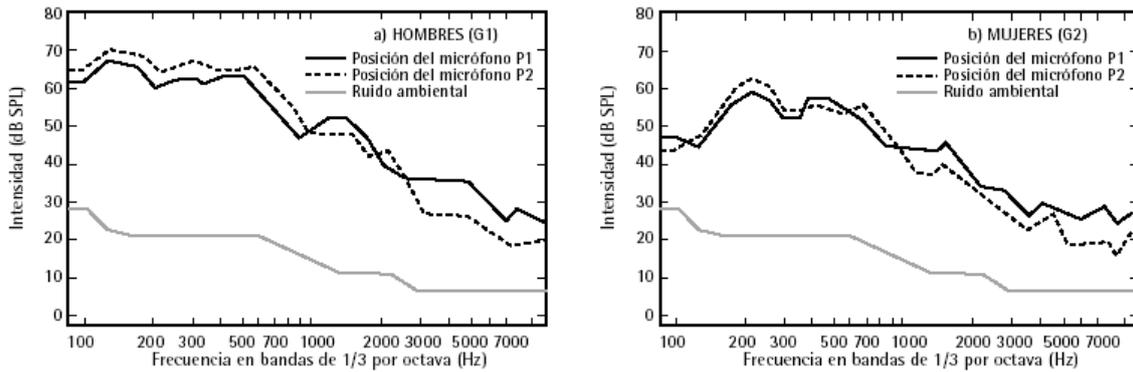


Figura 2: Promedio del espectro del habla (LTASS) en bandas de 1/3 por octava registrado durante 2,30 minutos mediante la grabación digital de un discurso a largo plazo colocando un micrófono a 30 cm enfrente del hablante (Zenker, F., Delgado, J. y Barajas, J.J. Características acústicas y aplicaciones audiológicas del promedio del espectro del habla a largo plazo. Revista de Logopedia, Foniatría y Audiología. 2003, Vol. 23, No. 2, 58-65)

del sonido las reflexiones se distribuyen más o menos de forma uniforme. La intensidad de las reflexiones está en función de la fuente sonora original y depende del tamaño de la habitación, las propiedades de absorción de los materiales y la direccionalidad de la fuente (Q). El Tiempo de Reverberación (TR_{60}) se define como el tiempo que tarda un sonido en disminuir 60 dB en un recinto o un campo sonoro altamente difuso. Este índice proporciona una medida de las propiedades de reverberación de un espacio determinado. En espacios amplios como gimnasios el TR_{60} puede ser de 2 a 3 segundos. En aulas de pequeñas dimensiones con materiales absorbentes los tiempos de reverberación pueden bajar hasta 0,3 a 0,4 segundos.

En un punto cualquiera de este espacio un oyente recibe tanto el sonido directo, cuyo valor sigue la regla de los 3 dB y las reflexiones cuya intensidad suele ser independiente a la distancia. Cuando el oyente está próximo a la fuente sonora, la intensidad del sonido directo excede el de la reverberación. Cuando el oyente está lejos de la fuente, la reverberación puede ser mayor que la señal. La distancia crítica es aquella donde se equipara el campo directo al reverberado. A distancias menores de 1/3 de la distancia crítica, el sonido directo es 10 dB más intenso que la reverberación. A distancias tres veces mayores que la distancia crítica el sonido directo es 10 dB o menos que la reverberación y por lo tanto la señal recibida queda enmascarada por la reverberación.

En la figura 4 observamos un ejemplo en el que el total del habla (sonido directo más reflexiones tempranas) está en función de la distancia (9x6x3 m) con un tiempo de reverberación relativamente corto (0,5 segundos) y un hablante con una Q de 3,5. En este ejemplo, la distancia crítica estimada es de 2 metros. Podemos observar como la mayoría de los oyentes reciben una mezcla de habla directa y reverberación. Los alumnos de las últimas filas,

escuchan únicamente la reverberación del habla y no perciben el sonido directo. Para personas con algún tipo de discapacidad auditiva debemos llevar a cabo acciones orientadas a mejorar la audibilidad en orden a asegurar una mejor inteligibilidad. Sin embargo, como revisaremos más adelante, mayor audibilidad (recepción) del sonido no lleva implícito mayor inteligibilidad (percepción).

Reflexiones tempranas y tardías

Cuando consideramos el efecto de la reverberación sobre la percepción del habla es importante que distingamos entre los componentes de las reflexiones tempranas y tardías. Los componentes tempranos llegan al oyente a tiempo de mejorar tanto la audibilidad como la inteligibilidad. En contraste, la reverberación tardía, llega al oyente demasiado tarde respecto a la fuente original por lo que no puede ser integrada con el sonido directo o con los componentes tempranos de la reverberación (Figura 3). El efecto de la reverberación tardía la podemos observar en el espectrograma de la figura 5. La parte inferior del gráfico muestra el espectrograma de la frase sometida a una reverberación de 0,5 segundos. Este espectrograma ilustra la señal del habla como si hubiese sido recibida por un alumno sentado en una de las tres últimas filas de la figura 4.

Los componentes de la reverberación equivalen a ruido ya que interfiere con la inteligibilidad, es decir, la señal del habla genera su propio enmascaramiento. Podemos observar que el ratio efectivo de la relación señal-ruido en habla reverberante es proporcional al logaritmo del tiempo de reverberación (Figura 6). Si asumimos que la efectividad del ratio señal-ruido debe de ser 15 dB para una completa audibilidad de la información útil en la señal del habla reverberante, podemos observar que este criterio se cumple sólo para tiempos de reverberación por debajo de los 0,2 segundos. Esta conclu-

Retraso equivalente en mseg	0 mseg	Hoy es el concierto de Jazz
	15 mseg	Hoy es el concierto de Jazz
	30 mseg	Hoy es el concierto de Jazz
	45 mseg	Hoy es el concierto de Jazz
	70 mseg	Hoy es el concierto de Jazz

Figura 3: Analogía visual del efecto de la reflexión temprana y tardía sobre la percepción del habla. Las copias adicionales (reflexiones) de cada frase superpuesta sobre la original con un retardo de hasta 30 mseg pueden mejorar la percepción, sin embargo, cuando ese retardo alcanza los 45 mseg este efecto dificulta la percepción final del mensaje.

sión es aplicable para los oyentes que están muy lejos del hablante en los que la contribución de la señal directa del habla es nula (p.e.: 3 veces o más la distancia crítica). Los oyentes que estén más cerca ganarán con la contribución adicional de la señal directa del habla.

El auto enmascaramiento del habla establece un límite en su inteligibilidad. Basándose en datos empíricos, el error en el porcentaje de fonemas reconocidos en palabras monosilábicas es nueve veces el tiempo de reverberación en segundos. Por lo

que la condición ilustrada en el espectrograma de la figura 5 puede causar un error en el reconocimiento de fonemas aislados de un 4,5%. Cuando añadimos el 1,5% de error típico observado en condiciones ideales de reconocimiento de fonemas, el total es de un 6% dándonos una puntuación total de reconocimiento del 94%.

EL RUIDO

Las fuentes de ruido potenciales son numerosas y pueden tener tanto orígenes internos como externos al aula. El ruido de fuentes externas pueden ser transmitido por el aire o por las estructuras. Las fuentes más comunes suelen ser el tráfico, ventiladores o equipos de aire acondicionado, actividad humana externa e interna al recinto.

La señal total efectiva final del ruido es una combinación del ruido presente y la reverberación tardía. El efecto del ruido presente puede ser considerado despreciable si su intensidad es menor a 10 dB por debajo de la de la reverberación tardía. De forma similar, el efecto de la reverberación tardía puede considerarse despreciable si su intensidad es menor a 10 dB por debajo del ruido.

El Ratio Señal — Ruido

La señal efectiva puede ser considerada como la

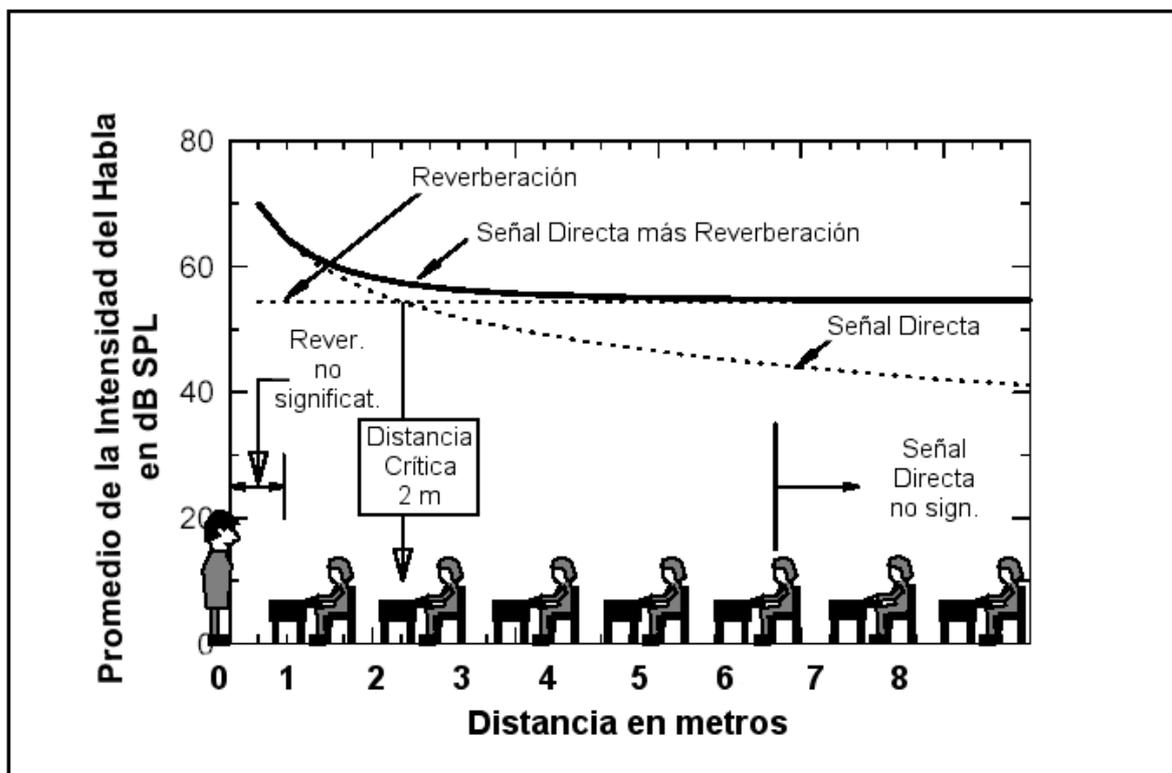


Figura 4: Intensidad del espectro del habla promedio (LTASS) predicha en función de la distancia del hablante en una habitación de 9 x 6 x 3 metros con un tiempo de reverberación de 0,5 segundos.

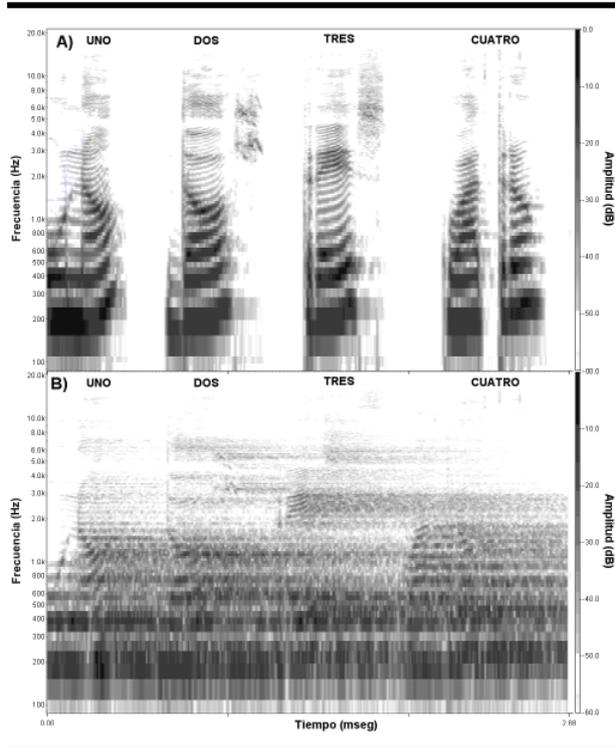


Figura 5: Espectrograma de una frase recitando los números del uno al cuatro (A) sin reverberación y (B) con reverberación. El Tiempo de Reverberación fue de 0,5 segundos. El rango de la intensidad entre el blanco y el negro es de 30 dB.

combinación del habla directa y la reverberación temprana. El ruido efectivo es la combinación del ruido presente y la reverberación tardía. El ratio señal – ruido efectivo es la diferencia en decibelios entre ambas variables.

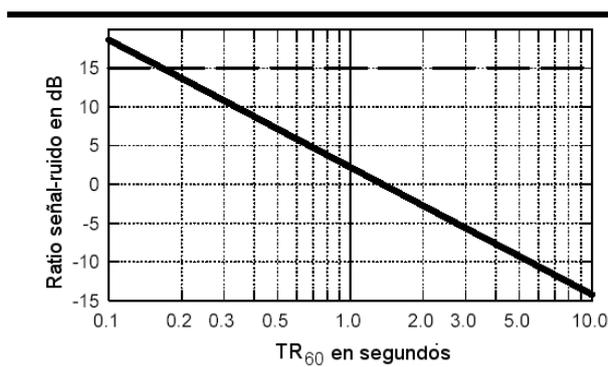


Figura 6: Estimación del ratio señal-ruido en función del tiempo de reverberación para una señal del habla (sin el componente de la señal directa del habla). La línea discontinua muestra el criterio señal –ruido a partir del cual se dispone de toda la información acústica útil.

EL INDICE DE AUDIBILIDAD DEL HABLA

La relación señal – ruido para cada frecuencia necesita ser al menos de 15 dB para que los oyentes puedan tener acceso a toda la información útil de la señal del habla. Esto sitúa a los picos del habla a corto plazo (que están 15 dB por encima del promedio total) al menos a 30 dB por encima del ruido. Cualquier otra condición reducirá la información útil disponible, a una relación señal – ruido de 15 dB del promedio a corto plazo del habla, los picos comenzarán a ser inaudible y la información disponible será 0%.

En orden a simplificar la evaluación de los sistemas de comunicación el Índice de Articulación (IA) especifica la proporción útil de la información acústica disponible. El Índice de Inteligibilidad del Habla (IIA) es una modificación del IA utilizado posteriormente en la literatura audiológica. Sin embargo, ninguna de estas medidas han tenido en cuenta los efectos de la reverberación tardía. Por esta razón se estableció el Índice de Audibilidad del Habla (IAH). Este se define como la proporción de la señal del habla útil (habla directa mas reverberación temprana) que está por encima de la intensidad del ruido efectivo (ruido presente mas reverberación tardía). El IAH es similar el Índice de Transmisión del Habla (ITH). Sin embargo el IAH tiene en cuenta tanto el ruido y la reverberación en términos de los cambios en amplitud de las envolventes del habla.

Al igual que en la teoría básica del IA podemos asumir que la información útil en el habla en cualquier banda de frecuencia está uniformemente distribuida sobre un rango de 30 dB, desde 15 dB por debajo a 15 dB por encima de la media. Las contribuciones de las banda de frecuencia sobre el IAH van desde 0 al máximo valor el cual se establece a partir del ratio señal-ruido para esa banda que va de -15 a 15 dB. Cuando la relación señal ruido alcanza 15 dB en todas las bandas significativas de frecuencia, el IAH es 1 o 100%. Si asumimos que el ratio señal ruido es el mismo en todas las bandas de frecuencia, entonces el IAH viene dado por la siguiente formula:

$$\text{IAH} = (\text{SR}+15)/30$$

IAH = Índice de Audibilidad del Habla.

SR= Diferencia total en dB entre la señal útil del habla y el ruido.

Los ratios de la relación señal ruido de -15 dB, 0 dB y 15 dB equivalen a IAHs del 0%, 50% y 100% respectivamente. En estas medidas tanto el habla como el ruido están medidos a largo plazo (dB leq). Sí medimos el habla usando medidas instantáneas el promedio de los picos de las vocales será de 5 dB por encima del promedio a largo plazo y por tanto para alcanzar un IAH del 100% deberíamos tener una medida de la relación señal ruido de al menos

20 dB.

RECONOCIMIENTO DEL HABLA

Reconocimiento de Fonemas

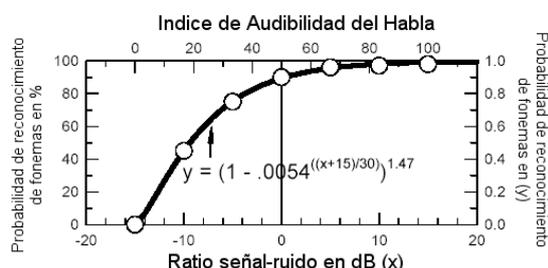


Figura 7: Reconocimiento de fonemas en palabras monosilábicas en función del ratio señal-ruido y del IAH. Los puntos representan la media de las puntuaciones obtenidas por 8 adultos normoyentes.

El IAH permite el reconocimiento de fonemas mediante cálculos de probabilidad. Si asumimos que cada porción del rango de 30 dB hace una contribución independiente a la probabilidad de reconocer un fonema, para los propósitos presentes, también asumiremos que el ratio efectivo señal – ruido es constante a lo largo de todas las frecuencias. En la figura 7 observamos datos obtenidos empíricamente en normoyentes adultos escuchando palabras monosilábicas con ruido de fondo. El ruido coincide espectralmente con el LTASS lo que justifica una relación señal ruido constante para todas las bandas de frecuencia. Esta coincidencia conlleva un escalamiento de la función resultados vs. intensidad. Cuando escuchamos en condiciones diferentes de ruido, aplicando ruido blanco, rosa u otro cualquiera, la relación señal – ruido usualmente varía con la frecuencia y la pendiente de resultados vs. intensidad es menor que la observada en la figura 7.

Reconocimiento de Monosílabos

El reconocimiento de palabras monosilábicas puede predecirse a partir de la probabilidad de reconocer fonemas aislados tal como establece la siguiente función:

$$P = F^N$$

P = Probabilidad de reconocer la sílaba.

F = Probabilidad de reconocer el fonema.

N = Número de fonemas percibidos independientemente por sílaba.

Se ha establecido una predicción de N=3.0 para

palabras monosilábicas. En adultos normoyentes el reconocimiento de monosílabos con significado, el valor baja entre 2,0 a 2,5, ya que el reconocimiento de un fonema en una palabra con significado aumenta la probabilidad de reconocer las siguientes. Este efecto puede observarse en la figura 8 en la que se muestra el reconocimiento para palabras de baja familiaridad (N=3.0) y palabras de alta familiaridad (N = 2.0) en función del IAH y la relación señal – ruido.

En el caso particular de entornos educativos la comunicación oral implica la exposición a vocabulario de baja familiaridad. Las condiciones que se dan de forma adecuada para el reconocimiento de palabras familiares no lo son para palabras con una familiaridad baja. Podemos observar como entre palabras familiares y no-familiares hay una diferencia en la probabilidad de reconocimiento del 13% lo cual equivale a una diferencia en la relación señal – ruido de 2 dB. El efecto evidentemente será mucho mayor cuando las palabras tengan más sílabas.

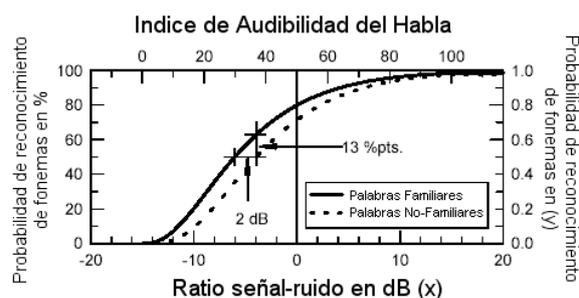


Figura 8: Reconocimiento de fonemas predicho en palabras monosilábicas familiares y no familiares en función del ratio señal—ruido y del IAH.

Reconocimiento de palabras en frases

Podemos predecir el reconocimiento de palabras en una frase siguiendo la siguiente ecuación:

$$P_f = 1 - (1 - P_a)^c$$

P_f = Probabilidad de reconocimiento de palabras en frases.

P_a = probabilidad de reconocimiento de monosílabos aislados.

C = Efecto del contexto.

El valor de C viene determinado por la extensión, la complejidad, la estructura sintáctica y el significado de la frase, así como por los conocimientos de la lengua que tenga el oyente y las estrategias de procesamiento lingüístico que posea.

A partir de las ecuaciones anteriores podemos predecir el reconocimiento de palabras en frases en función de la relación señal-ruido. En la

figura 9 observamos los resultados del reconocimiento de palabras en frases simples y complejas. Las líneas continuas representan palabras familiares en frases simples con valores de $N=2.0$ y $C=7.0$. Las líneas discontinuas representan palabras poco familiares en frases complejas. Podemos observar como el efecto de la complejidad de la frase y los conocimientos lingüísticos del oyente influyen de forma decisiva en el reconocimiento del habla y especialmente cuando se dan unas condiciones acústicamente pobres.

En la figura 9 observamos la representación gráfica de la probabilidad del reconocimiento de palabras en frases para un normoyente adulto del 95%. Sin embargo, sí se tratase de un niño normoyente tendríamos que tomar como referencia la línea discontinua ya que la mayoría de las palabras que escucharía tendrían una baja familiaridad lingüística para él. En este caso el porcentaje de reconocimiento del habla sería sólo de un 38%. El niño necesitaría un incremento de unos 11,5 dB en la relación señal ruido para alcanzar los resultados del adulto. Es evidente que los aspectos lingüísticos relacionados con el aprovechamiento de la información auditiva resultan críticos en la percepción final del habla.

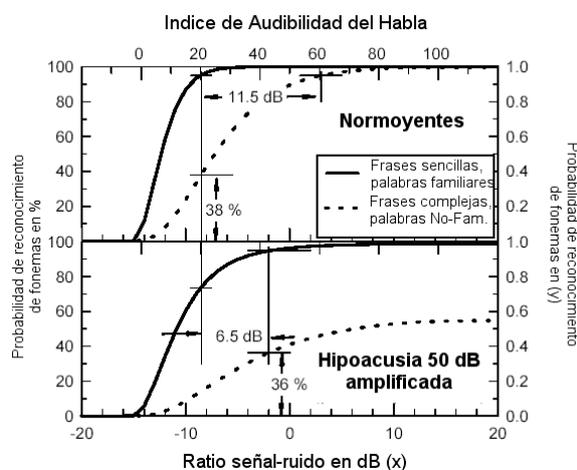


Figura 9: Reconocimiento de palabras en frases simples y complejas en función del ratio señal-ruido y del IAH. En la gráfica superior observamos el resultado para un adulto normoyente. En la parte inferior observamos los resultados para una persona con una hipoacusia neurosensorial de de 50 dB

Efecto de la discapacidad auditiva

La mayoría de los estudios sobre acústica en entornos asumen una audición normal y unas aptitudes y competencias lingüísticas y auditivas similares en todos los oyentes. Así mismo asumen que la com-

prensión del lenguaje y la dificultad del mismo es una constante. Sí bien esto puede resultar cierto para adultos normoyentes resulta obvio que en niños en etapas de aprendizaje o con dificultades auditivas el desarrollo psicolingüístico y la sensibilidad auditiva van a ser determinantes en la comprensión final.

En general podemos asumir que para los hipoacúsicos con algún tipo de corrección auditiva un 1% de capacidad en el reconocimiento del habla corresponden a 20 dB sin amplificar para la media de las tres frecuencias fundamentales del habla (500 Hz, 1000 Hz y 2000 Hz). Esta relación aproximada se ha establecido a partir de la experiencia clínica y de varios estudios de investigación. Sin embargo, no tienen en cuenta la configuración del audiograma, retrasos del lenguaje o problemas cognitivos adicionales.

En la parte inferior de la figura 9 se puede observar el porcentaje de reconocimiento del habla en una persona con una pérdida auditiva plana de 50 dB. Para este individuo necesitaremos aproximadamente 6 dB de aumento de la relación señal ruidos para llegar a alcanzar el 95% de reconocimiento de palabras en frases simples. Sin embargo, para palabras de baja familiaridad, en frases complejas, para el mismo valor de relación señal-ruido este individuo alcanzará únicamente un 36% de reconocimiento del habla. Necesitaremos un aumento de al menos 10 dB para que esta persona pueda mejorar su porcentaje de reconocimiento. Aun así y alcanzando las condiciones más óptimas para este sujeto llegaríamos a sólo un reconocimiento del 55%. A partir de este gráfico podemos hacernos una idea de las dificultades que experimentan los usuarios de audífonos e implante coclear al tratar de percibir un material lingüísticamente complejo y novedosos para ellos, situación que se da invariablemente en el contexto educativo.

IMPLICACIONES PRÁCTICAS

La principal implicación de lo expuesto hasta ahora es que la reducción de la relación señal-ruido debe ser lo suficientemente alta para que los oyentes disponga de un adecuado acceso a toda la información acústica del habla. Es decir, la combinación del habla directa y de las reflexiones temprana de la reverberación debe ser lo suficientemente alta respecto a la combinación del ruido y de los componentes tardíos de la reverberación.

Para obtener un IAH del 100% deberíamos tener un ruido de fondo de 20 dBA o menos y un tiempo de reverberación de 0,2 segundos o menos. Evidentemente este tipo de condiciones sólo se dan en estudios de grabación o en cabinas audiométricas. Sin embargo, no es necesario alcanzar estos valores ya que el habla es una señal altamente redundante tanto acústica como lingüísticamente. Un

objetivo razonable para este índice sería alcanzar un 70% o un 75% con material lingüísticamente complejo. Lo que equivale a tener una relación señal de ruido de 6 a 7 dB. La redundancia es un término relativo ya que depende del material lingüístico y de otras condiciones audiológicas del oyente. Lo que resulta aceptable para un oyente y una situación determinada puede ser inaceptable para otro oyente en la misma situación. Es por ello que debemos adaptar las condiciones acústicas teniendo en cuenta las características individuales como la edad, lengua (nativa o extranjera), dificultades de audición, lenguaje y aptitudes cognitivas de los alumnos.

Las recomendaciones vigentes establecen que los recintos cerrados deben tener unos niveles de ruido de 35 dB o menos. Los tiempos de reverberación deben de ser de 0,6 segundos para recintos pequeños y medianos y de aproximadamente 0,7 segundos para recintos grandes. En caso de presencia de personas con discapacidad auditiva se recomienda un tiempo de reverberación de aproximadamente 0,4 segundos o menos. Cuando aplicamos estas recomendaciones a los supuestos de las figuras anteriores observamos que las personas situadas en el extremo de la habitación alcanzarán un IAH de un 70%. Si añadimos el ruido interno del propio recinto este índice puede caer hasta el 66% lo cual resulta inapropiado para la recepción de palabras poco familiares en frases complejas.

El uso de micrófonos y altavoces puede mejorar estos índices. Estas soluciones son apropiadas cuando el problema es el ruido ya que la señal, en este caso el habla, se incrementa sin aumentar el ruido de fondo. Sin embargo no es una buena solución cuando el problema es la reverberación. En este caso cualquier aumento de la señal provoca un aumento de los componentes tardíos de la reverberación lo cual conlleva a una disminución de la relación señal-ruido. Además hemos de añadir que para aquellas personas que no están cerca del altavoz este tipo de soluciones puede aumentar la reverberación. En orden a evitar estas reflexiones tardías podemos utilizar altavoces direccionales. Estos altavoces apropiadamente orientados pueden minimizar el efecto enmascarador de la reverberación tardía.

Evidentemente el primer paso al acondicionar una habitación con una acústica pobre es la instalación de materiales absorción en orden a reducir los tiempos de reverberación a niveles aceptables. Una vez hecho esto, podemos proceder con la instalación del campo abierto y mejorar la relación señal - ruido contrarrestando el efecto de la distancia. Si por cualquier razón la reverberación no puede disminuirse cualquier intento de mejorar las condiciones de escucha mediante sistema de amplificación en campo libre requerirán de un extremo cuidado en la selección, instalación y ajuste del equipo.

Para los usuarios de audífonos o implante coclear existe la posibilidad de utilizar equipos de

frecuencia modulada. Mediante estos sistemas podemos alcanzar una IAH cercano al 100% ya que este tipo de procedimientos nos permiten una mejora de la relación señal ruido de hasta 15 dBA.

REFERENCIAS

American National Standards Institute, (1995). *American national standard method for measuring the intelligibility of speech over communications systems*. ANSI S3.2-1989 (R 1995).

American National Standards Institute, (2002). *American national standard methods of the calculation of the speech intelligibility index*. ANSI S3.5-1997 (R Ateria, 2002).

American National Standards Institute, (2002). *Acoustical performance criteria design requirements, and guidelines for classrooms*. ANSI S12.6 -2002.

American Speech-Language Hearing Association, (1995, March). Acoustics in educational settings: position statement and guidelines. *ASHA*, 37, (suppl. 14), pp. 15-19.

American Speech-Language Hearing Association, (2002). Guidelines for fitting and monitoring FM systems. *ASHA Desk Reference*, Volume II, pp 151-171.

Boothroyd, A. (1984). Auditory perception of speech contrast by subjects with sensorineural hearing loss. *Journal of Speech and Hearing Research*, 27, 134-144.

Boothroyd, A. (1985). Evaluation of speech production in the hearing-impaired: some benefits of forced-choice testing. *Journal of Speech & Hearing Research*, 28, 185-196.

Boothroyd, A. (2002). *Influence of context on the perception of spoken language*. In: Proc. Congreso Internacional de Foniología, Audiología, Logopedia y Psicología del lenguaje. Universidad Pontificia de Salamanca.

Boothroyd, A., and Nittrouer, S. (1988). Mathematical treatment of context effects in phoneme and word recognition. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84, 101-114.

Boothroyd, A., Erickson, F., & Medwetsky, L. (1994). The hearing aid input: a phonemic approach to assessing the spectral distribution of speech. *Ear and Hearing*, 15, 432-442.

Cox, R.M. and Moore, J.R. (1988). Composite speech spectrum for hearing aid gain prescriptions. *Journal of Speech and Hearing Research*, 31, 102-107.

Crandell, C.C. and Smaldino, J.J. (2000). Classroom acoustics for children with normal hearing and with hearing impairment. *Language, Speech, and Hearing Services in Schools*, 31, 362-370.

Davis, D. and Davis, C. (1997). *Sound system engineering* (second edition). Newton, MA: Focal Press.

Fletcher, H. (1953). *Speech and hearing in communication*. New York: Van Nostrand. (Available in the ASA edition, edited by Jont Allen and published by the Acoustical Society of America in 1995).

Delgado J. y Zenker F. El promedio del espectro del habla. Fundamentos y aplicaciones clínicas [en-línea]. *Auditio: Revista electrónica de audiolología*. 1 Octubre 2002, vol. 1(3), pp. 41-44. (<http://www.auditio.com/revista/pdf/vol1/3/020301.pdf>)

French, N.R. and Steinberg, J.C. (1947). Factors governing the intelligibility of speech sounds. *Journal of the Acoustical Society of America*, 19, 90-119.

Mackersie, C.L., Boothroyd, A., and Minnear, D. (2001). Evaluation of the Computer-Assisted Speech Perception Test (CASPA). *Journal of the American Academy of Audiology*. 12, 390-396.

Peutz, V. (1997), Speech recognition and information. Appendix 10 in: Davis, D. and Davis, C. (1997). *Sound system engineering* (second edition), pp639-644. Newton, MA: Focal Press.

Steeneken, H.J.M. and Houtgast, T. (1973). The modulation transfer function in room acoustics as a predictor of speech intelligibility, *Acustica*, 28, 66-73.

Zenker F y Barajas JJ: Adaptación de audífonos en función del promedio del espectro de la palabra hablada. Estudio de un caso único. En: *Logopedia escolar y clínica. Últimos avances en Evaluación e Intervención*. Editor: José Domingo Martín Espino, Madrid, Editorial CEPE, 1999, pp. 329-336.

Zenker, F., Delgado, J. y Barajas, J.J. Características acústicas y aplicaciones audiológicas

del promedio del espectro del habla a largo plazo. *Revista de Logopedia, Foniatría y Audiolología*. 2003, Vol. 23, No. 2, 58-65).

Contacto con el autor:

Franz Zenker.
Clínica Barajas.
C/ Pérez de Rozas 8.
38004 Santa Cruz de Tenerife.
Islas Canarias. España.
Tel: +34 922 275488
Fax: +34 922 270364
E-mail: zenker@clinicabarajas.com

Para saber más:

<http://www.auditio.com/aula>