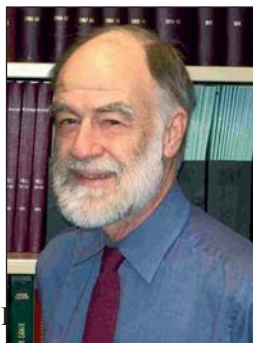


From Speech Privacy to Speech Security



PACS: 43.55.Hy

Abstract

Consideration of speech privacy in indoor environments started with the recognition of the importance of speech-to-noise ratios and the introduction of the Articulation Index (AI) as a measure of speech privacy. The AI has been successfully employed in open-plan offices where little reflected sound is desired. More recently the design and assessment of the speech security of meeting rooms has been considered. The audibility and intelligibility of speech from a meeting room can be related to the probability of higher speech levels in meeting rooms and of lower ambient noise levels outside the room as well as to the sound transmission characteristics of the room boundaries. Because eavesdroppers may be close to the room, transmitted speech levels are measured and predicted at 0.25 m from the outside of the room. While the speech-to-noise ratio is the most important factor, the intelligibility of the transmitted speech is also influenced by reverberation and spectral changes on transmission through walls. This is further complicated by the spatial relationship between the directions of arrival of the speech and noise sounds. New results demonstrate the separate effects of early reflections and reverberation of the speech and the relative direction and diffuseness of the ambient noise on the level of speech privacy.

De la privacidad a la seguridad en la palabra

*John S. Bradley,
National Research Council, 1200 Montreal Rd.,
Ottawa, Canada, K1A 0R6
John.Bradley@nrc-cnrc.gc.ca*

Resumen

La reflexión sobre la privacidad de la palabra en ambientes interiores comenzó con el reconocimiento de la importancia de las relaciones señal/ruido y la introducción del Índice de Articulación (AI) como una medida de la privacidad de la palabra. El AI se ha utilizado con éxito en las oficinas paisajísticas donde se desea muy poco sonido reflejado. Recientemente, se ha considerado el diseño y la contribución a la seguridad en la palabra en las salas de reuniones. La audibilidad y la inteligibilidad de la palabra procedentes de una sala de reuniones pueden estar relacionadas con la probabilidad de que existan niveles muy altos de la palabra en las salas de reuniones y niveles de ruido ambiente más bajos fuera de la sala, así como con las características de transmisión sonora de los límites de la sala. Dado que los escuchadores furtivos pueden estar cerca de la sala, los niveles de palabra transmitidos se miden y predicen a 0,25 m del exterior de la sala. Mientras que la relación señal/ruido es el factor más importante, la inteligibilidad de la palabra transmitida está también influenciada por la reverberación y los cambios espectrales en la transmisión a través de las paredes. Esto es aún más complicado debido a la relación espacial entre las direcciones de llegada de los sonidos de la palabra y del ruido. Los nuevos resultados de la investigación demuestran los efectos, por separado, que las reflexiones tempranas y la reverberación de la palabra y la dirección relativa y la difusividad del ruido ambiente tienen en el nivel de privacidad de la palabra.

Introduction

Speech privacy refers to conditions where our ability to understand some speech sounds is reduced. Speech privacy may be desired because we want a conversation to remain confidential and not be understood by others, or in other cases we may want speech privacy because the conversations of others are an unwanted disturbance. In either case we would like to make acoustical modifications to reduce the intelligibility of the speech sounds at particular listener locations. We therefore can measure speech privacy in terms of the intelligibility of the speech and specify speech privacy criteria in terms of adequately low speech intelligibility scores. Approaches to achieving adequate speech privacy will vary depending on the acoustical environment. In this paper speech privacy in open-plan offices will first be discussed followed by discussion of speech privacy for enclosed offices and meeting rooms.

Our current approaches to speech privacy issues have developed from the pioneering work of Cavanaugh et al. [1]. They first made it clear that a sense of privacy was related to the intelligibility of the speech. They also introduced the use of the Articulation Index (AI) [2] as an appropriate measure of the degree of speech privacy. AI is a frequency-weighted signal-to-noise ratio measure developed after extensive research [3] and is well related to speech intelligibility scores. Thus, one can establish speech privacy criteria in terms of maximum allowed AI values.

This initial work was followed in the 1970s by the application of these ideas to open-plan offices [4-6], which is summarized in [7]. A later study by Moreland [8], based on a large number of measurements in actual open-plan offices, related office design parameters to AI values. Several ASTM measurement standards were developed including one for evaluating speech privacy in open-plan offices in terms of AI values [9]. A general consensus developed, for achieving acceptable acoustical conditions in open-plan offices, that included the addition of absorbing surfaces and partial height workstation panels to block and attenuate the propagation of speech sounds and that an acceptable goal was that the resulting combination of the ambient noise level and intruding speech level should correspond to an $AI \leq 0.15$. Although increasing ambient noise levels can reduce AI values, and hence increase privacy, Warnock et al. [5] pointed

Introducción

La privacidad de la palabra se refiere a las condiciones para las cuales nuestra habilidad para comprender algunos sonidos de la palabra se ve reducida. La privacidad de la palabra se puede desear porque queramos mantener una conversación confidencial y no queremos que los demás nos entiendan, o, en otros casos, podemos querer la privacidad de la palabra porque las conversaciones de los demás son una molestia no deseada. En cualquiera de los dos casos deseáramos hacer modificaciones acústicas para reducir la inteligibilidad de los sonidos de la palabra en determinadas ubicaciones del oyente. Por ello, podemos medir la privacidad de la palabra desde el punto de vista de la inteligibilidad de la palabra y especificar los criterios de privacidad de la palabra en función de resultados de la inteligibilidad de la palabra adecuadamente bajos. Los planteamientos para obtener una privacidad de la palabra adecuada variarán en función del entorno acústico. En este documento, se discute en primer lugar la privacidad de la palabra en oficinas paisajísticas, y seguidamente la privacidad de la palabra para oficinas cerradas y salas de reuniones.

Nuestros planteamientos actuales sobre temas de privacidad de la palabra se han desarrollado desde el trabajo pionero de Cavanaugh et al. [1]. Primero dejaron claro que un sentido de privacidad estaba relacionado con la inteligibilidad de la palabra. También introdujeron el uso del Índice de Articulación (AI) [2] como una medida adecuada del grado de privacidad de la palabra. El AI es una medida de la relación señal/ruido ponderada en frecuencia desarrollada tras una extensa investigación [3] y está muy en relación con los resultados de la inteligibilidad de la palabra. De este modo, uno puede establecer los criterios de la privacidad de la palabra desde el punto de vista de los valores del AI máximos permitidos.

Este trabajo inicial fue seguido en los años 70 por la aplicación de estas ideas a oficinas paisajísticas [4-6], que se resume en la referencia [7]. Un estudio posterior realizado por Moreland [8], basado en un amplio número de mediciones en oficinas paisajísticas reales, relacionaba los parámetros de diseño de la oficina con los valores del AI. Varias normas de medición ASTM se desarrollaron incluyendo una para evaluar la privacidad de la palabra en las oficinas paisajísticas desde el punto de vista de los valores del AI [9]. Como consenso general para alcanzar condiciones acústicas aceptables en las oficinas paisajísticas, que incluyesen la suma de las superficies absorbentes y los paneles del puesto de trabajo de una altura parcial para bloquear y atenuar la propagación de los sonidos de la palabra, se llegó a que un objetivo aceptable era que la combinación resultante del nivel de ruido ambiente y el nivel intrusivo de la palabra debería corresponder a un $AI \leq 0.15$. A pesar de que los nive-

out that too much ambient noise was counter productive because occupants found it annoying and simply talked more loudly. They recommended a maximum ambient noise level of no more than 48 dBA.

New studies of speech privacy criteria for open-plan offices

IRC-NRC recently carried out a large multi-disciplinary project to investigate the often-interacting acoustical, lighting and air quality requirements for an optimum open-plan office (referred to as COPE, Cost-Effective Open Plane Environments). The acoustical components of this work included new physical measurement and subjective assessment studies to evaluate the generally accepted acoustical requirements and to develop improved procedures for achieving acoustical design goals. The open-plan office is by far the most common type of office space in North America. Almost all new office construction is for open-plan offices and there are strong pressures to reduce the average floor area of each workstation to reduce building costs.

Appropriate Speech Privacy Design Goals for Open-Plan Offices

Concerning acoustical design goals it was a generally accepted that one should strive to achieve conditions in which $AI \leq 0.15$. However, no particular study could be found that produced this conclusion. The ANSI standard defining AI [2] has been changed and the new version defines the Speech Intelligibility Index (SII) [10]. Comparisons of the two measures in open-plan office situations show that above about $AI = 0.05$, SII values are about 0.06 larger than the corresponding AI values [11, 12]. An approximate difference of 0.05 is used in some of the following discussions for convenience. Similarly, although it was recognized that ambient noise could be too loud, there was no study that suggested what an optimum ambient noise level should be to maximize the masking of unwanted speech while not unduly disturbing occupants of open plan offices. Accordingly, new studies were carried out to better understand acoustical design requirements for open-plan offices.

The appropriateness of the AI design goal was investigated by carrying out speech intelligibility tests in conditions that modelled those in an open-plan office [13].

les de ruido ambiente crecientes pueden reducir los valores del AI, y por lo tanto aumentar la privacidad, Warnock et al. [5] señalaron que demasiado ruido ambiente era anti-productivo porque los ocupantes del recinto lo encontraban molesto y simplemente hablaban más alto. Recomendaron un nivel de ruido ambiente máximo de no más de 48 dBA.

Nuevos estudios de los criterios de la privacidad de la palabra para oficinas paisajísticas

IRC-NCR llevaron a cabo recientemente un amplio proyecto multi-disciplinar para estimar los requisitos de acústica, de iluminación y de la calidad del aire que interactúan entre sí para lograr una oficina paisajística óptima (referida como COPE, Entornos Paisajísticos de Bajo Coste). Los componentes acústicos de este trabajo incluyeron estudios de medición física nuevos y estudios de verificación subjetivos para evaluar los requisitos acústicos generalmente aceptados y para desarrollar procedimientos mejorados para alcanzar los objetivos de diseño acústicos. La oficina paisajística es de lejos el tipo más común de espacio de oficina en América del Norte. Casi todas las nuevas construcciones de oficinas son para oficinas paisajísticas y existen fuertes presiones para reducir el promedio del área del suelo de cada puesto de trabajo para reducir los costes de los edificios.

Objetivos de diseño de la privacidad de la palabra adecuados para oficinas paisajísticas

En lo referido a los objetivos de diseño acústico, fue generalmente aceptado que se debería procurar alcanzar condiciones en las que el $AI \leq 0.15$. Sin embargo, no se pudo hallar ningún estudio que llegase a esta conclusión. La norma ANSI que define el AI [2] cambió y la nueva versión define el Índice de Inteligibilidad de la Palabra (SII) [10]. Las comparativas entre las dos medidas en situaciones de oficinas paisajísticas muestran que por encima de aproximadamente un $AI = 0.05$, los valores del SII son más o menos un 0.06 superiores a los valores del AI correspondiente [11, 12]. Por comodidad, se utiliza en algunas de los siguientes casos expuestos una diferencia aproximada de 0.05. De forma similar, a pesar de que se reconoció que el ruido ambiente podría ser demasiado alto, no había ningún estudio que sugiriese que debería existir un nivel de ruido ambiente óptimo para maximizar el enmascaramiento de la palabra no deseada mientras no molestase indebidamente a los ocupantes de las oficinas paisajísticas. De acuerdo con esto, se llevaron a cabo nuevos estudios para comprender mejor los requisitos de diseño acústicos de las oficinas paisajísticas.

La idoneidad del objetivo de diseño del AI se investigó llevando a cabo ensayos de inteligibilidad de la palabra en condiciones que imitaban las de una oficina paisajística [13]. Los en-

The tests used the Harvard sentences [14] and the speech sounds were spectrally modified so that they would represent speech propagated from an adjacent workstation. Subjects heard this speech from loudspeakers in front of them and simulated ambient noises from loudspeakers above them as illustrated in Figure 1. Twenty-nine subjects each listened to 100 combinations of speech and noise. Their mean intelligibility scores aggregated into intervals of 0.05 AI are shown in Figure 2.

sayos utilizaron las frases de Harvard [14] y los sonidos de palabras se modificaron espectralmente de manera que representasen la palabra propagada desde un puesto de trabajo adyacente. Los sujetos oían estas palabras por los altavoces situados delante de ellos y los ruidos ambiente simulados de los altavoces por encima de ellos según se ilustra en la Figura 1. Cada uno de los veintinueve sujetos escucharon 100 combinaciones de palabras y ruidos. En la Figura 2 se muestran sus principales resultados de inteligibilidad en intervalos de 0.05 del AI.

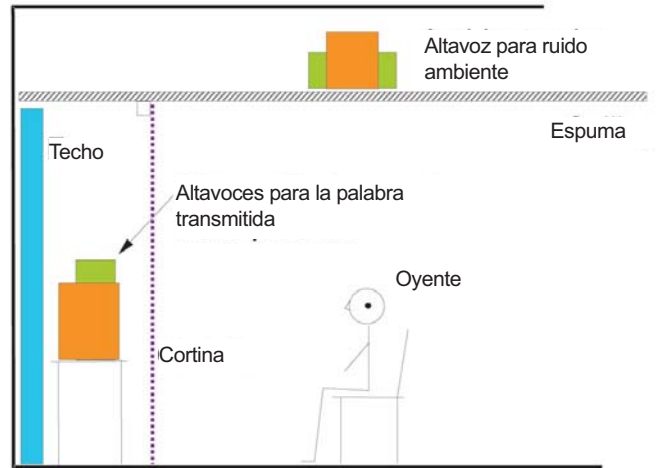
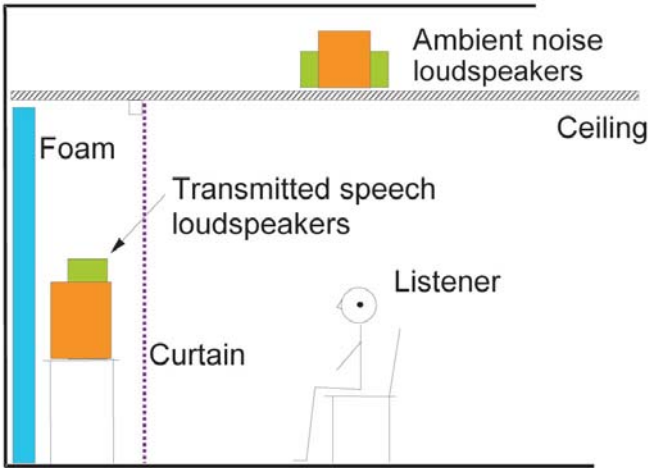


Figure 1. Experimental set up for listening tests of simulated open-plan office conditions.

Figura 1. Dispositivo experimental para ensayos de audición en condiciones de oficina paisajística simuladas

At the design goal of AI = 0.15 (or approximately SII = 0.20) the average intelligibility score is about 70%. This is certainly not perfect privacy but does represent a significant improvement over doing nothing, which would result in intelligibility scores close to 100%. It also can be shown that it is difficult to achieve lower AI values than about 0.15 in

En el objetivo de diseño del AI = 0.15 (o aproximadamente SII = 0.20) el resultado de la inteligibilidad promedio es de aproximadamente el 70%. Esto ciertamente no es la perfecta privacidad pero representa una mejora significativa sobre no hacer nada, que causaría resultados de la inteligibilidad cercanos al 100%. También se puede apreciar que es difícil alcanzar

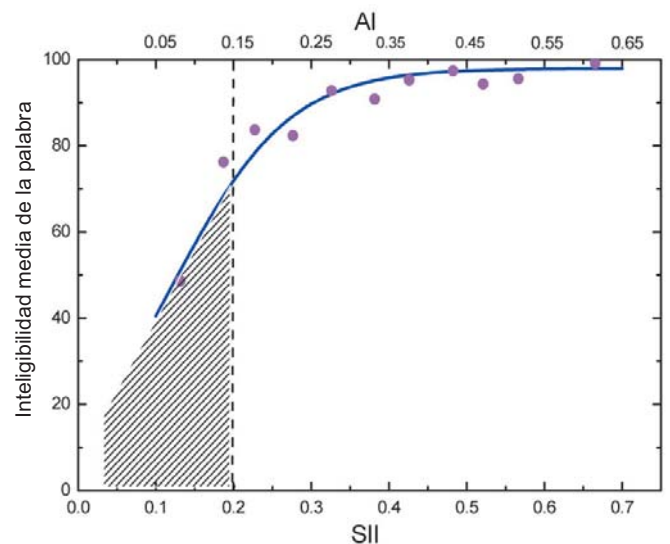
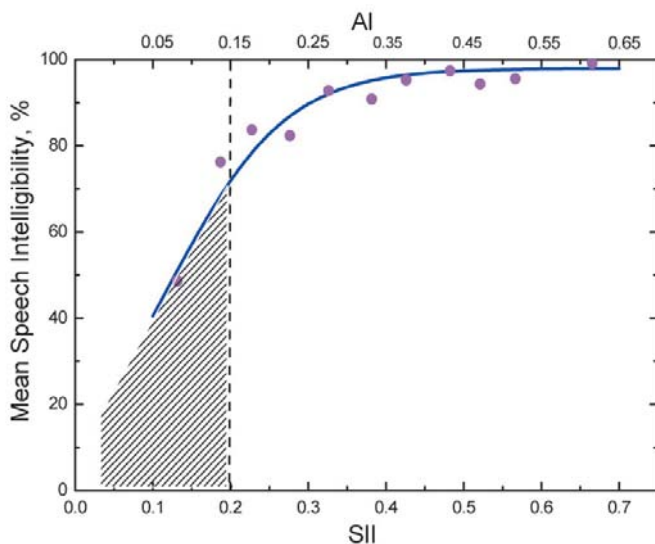


Figure 2. Mean speech intelligibility versus AI (top axis) or SII (bottom axis) for simulated open-plan office conditions. The hatched area represents the recommended design goal.

Figura 2. Inteligibilidad media de la palabra frente al AI (eje superior) o SII (eje inferior) en condiciones de oficinas paisajísticas simuladas. La zona sombreada representa el objetivo de diseño recomendado.

real open-plan offices. Therefore, designing to achieve $AI \leq 0.15$ is a reasonable design goal in that it leads to significantly improved privacy and is about as much privacy as can be practically achieved in an open-plan office.

Additional tests were made to evaluate subject's impressions of the conditions. While doing an arithmetic task or an editing task, subjects heard speech modified to represent propagation from an adjacent workstation. At the same time they also experienced various simulated ambient noises. They were asked to rate how distracting they found the conditions immediately after completing the tasks. Figure 3 plots the mean ratings versus the SII values describing each condition. For the $SII = 0.0$ case, subjects experienced only simulated ambient noise and no simulated speech from an adjacent workstation. The criterion of $SII = 0.20$ corresponds to a mean rating between 'A little distracting' and 'Moderately distracting'

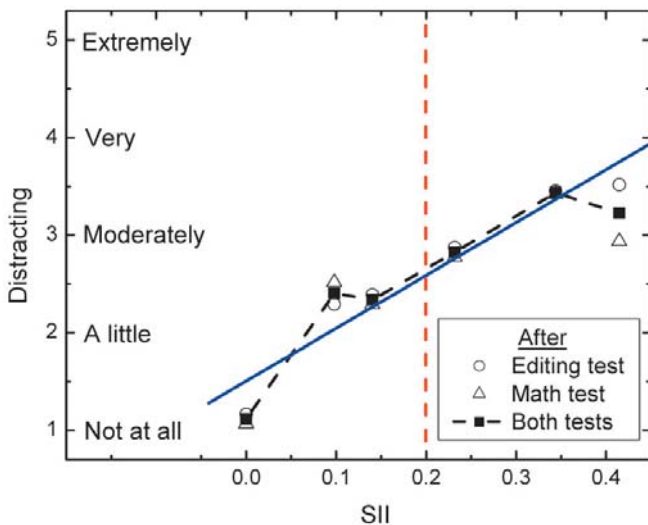


Figure 3. Mean distraction rating for simulated open-plan office conditions while performing arithmetic and editing tasks.

A second subjective test evaluated the perceived speech privacy of conditions. For the same conditions and tasks as in the previous test, subjects were asked to rate the speech privacy on a 5-point scale from 'None' to 'Confidential'. Figure 4 shows that when there was no disturbing speech ($SII = 0.0$ case), subjects thought they did have approximately 'confidential conditions'. However, for the criterion value of $SII = 0.20$, the mean rating was a little less than 'Acceptable'.

valores del AI más bajos de aproximadamente 0.15 en oficinas paisajísticas reales. Por lo tanto, diseñar para alcanzar un $AI \leq 0.15$ es un objetivo de diseño razonable en cuanto que lleva a una privacidad mejorada significativa y es más o menos la mayor privacidad que se puede alcanzar prácticamente en una oficina paisajística.

Se realizaron ensayos complementarios para evaluar las impresiones de los sujetos acerca de las condiciones. A la hora de realizar una tarea aritmética o una tarea de edición, los sujetos oyeron palabras modificadas para representar la propagación procedente de un puesto de trabajo adyacente. Al mismo tiempo, también experimentaron varios ruidos ambiente simulados. Se les pidió clasificar el grado de molestia de las condiciones inmediatamente después de completar las tareas. En la Figura 3 se incluyen los valores medios frente a los valores del SII que describen cada condición. Para el caso del $SII = 0.0$, los sujetos experimentaron solamente el ruido ambiente simulado y no la palabra simulada procedente del puesto de trabajo adyacente. El criterio del $SII = 0.20$ corresponde a un valor medio entre "Distrae un poco" y "Distrae Moderadamente"

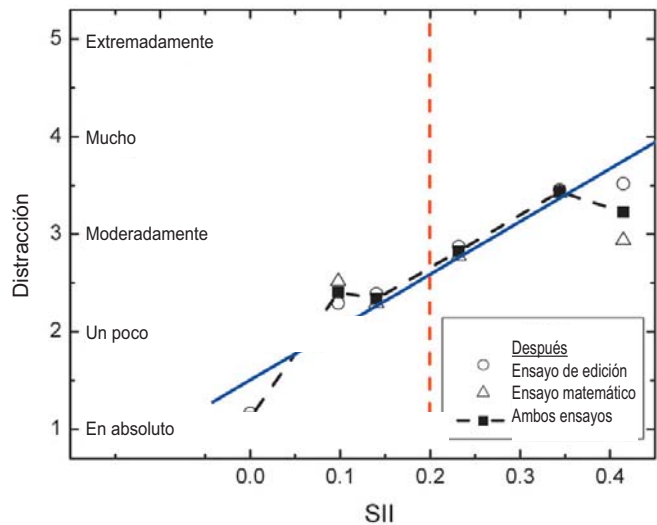


Figura 3. Índice de distracción media para condiciones de oficinas paisajísticas simuladas mientras se realizan tareas aritméticas y de edición

Un segundo ensayo subjetivo evaluó la privacidad de la palabra percibida de las condiciones del puesto de trabajo. Para las mismas condiciones y tareas que en el ensayo anterior, se solicitó a los sujetos clasificar la privacidad de la palabra en una escala de 5 puntos desde "Ninguna" hasta "Confidencial". La Figura 4 muestra que cuando no existía palabras que distrajesen (caso $SII = 0.0$), los sujetos consideraron que tenían más o menos "condiciones confidenciales". Sin embargo, para el valor de criterio del $SII = 0.20$, el valor medio era un poquito menor que "Aceptable".

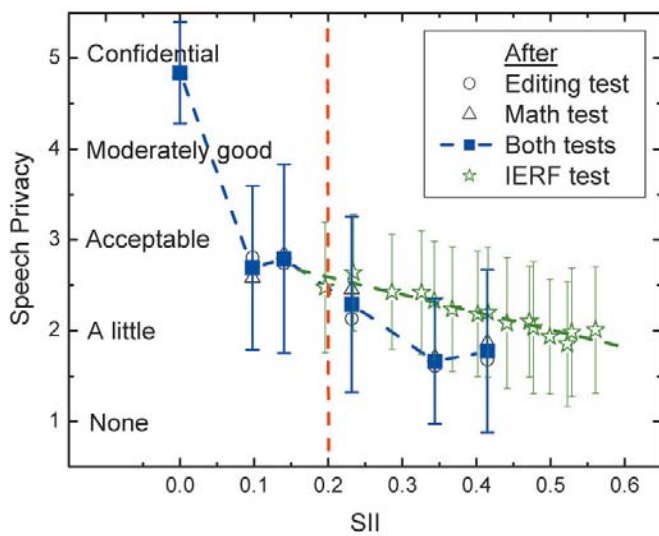


Figure 4. Mean ratings of the perceived speech privacy of conditions while performing various tasks.

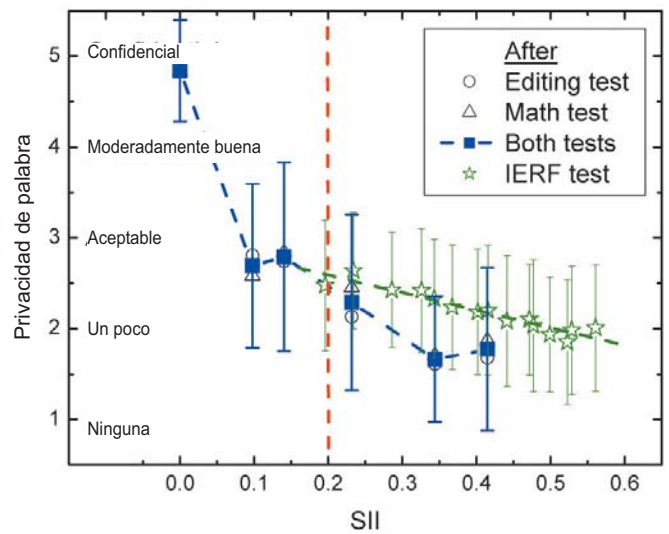


Figura 4. Valores medios de la privacidad de la palabra percibida de las condiciones mientras se realizan varias tareas

There is an additional set of results in Figure 4 from a completely different experiment (labelled IERF), where subjects worked in an experimental open-plan office and experienced recorded telephone conversations from an adjacent workstation and simulated ambient noise from loudspeakers above the ceiling. Because in this test conditions changed every 20 minutes [15], subjects had a longer time to experience each condition than in the previous experiment. Although the results are from two quite different experiments, there is good agreement between the two sets of results for conditions with similar SII values. In both cases conditions with $SII = 0.20$ would be rated less than ‘Acceptable’ speech privacy. That is, even if we meet our design goal of $AI = 0.15$ (or $SII = 0.20$), occupants of the office will find the speech privacy not quite acceptable. One can estimate from these results that ‘Acceptable’ speech privacy would correspond to conditions with an $SII \leq 0.15$ (corresponding to $AI \leq 0.10$).

In the second experiment (referred to above as IERF), which was carried out in an experimental open-plan office, subjects were also asked to rate the relative loudness of the simulated ambient noises. Of course, this was done in the presence of unwanted speech in the form of telephone conversations from an adjacent workstation and while the subjects were carrying out various computer based tasks. After each 20-minute session, they were asked to rate the ambient noise on a 5-point scale from ‘Much too quiet’ to ‘Much too loud’. The mid-point was the neutral, ‘Neither quiet nor loud’. This intermediate neutral point is assumed to correspond to an optimum level of ambient noise for these subjects. The result, shown in Figure 5, is that an ambient noise level of about 45 dBA is judged to be optimum for an open-plan office. That is, subjects seem to find an ambient noise level of

Existe, en la Figura 4, un conjunto adicional de resultados de un experimento completamente distinto (denominado IERF), donde los sujetos trabajaban en una oficina paisajística experimental y recibieron conversaciones telefónicas grabadas procedentes de un puesto de trabajo adyacente y con un ruido ambiente simulado procedente de los altavoces por encima del techo. Dado que estas condiciones de ensayo cambiaban cada 20 minutos [15], los sujetos tuvieron más tiempo para experimentar cada condición que en el experimento anterior.

Aunque los resultados proceden de dos experimentos bastante diferentes, existe gran acuerdo entre los dos conjuntos de resultados para condiciones con valores SII similares. En ambos casos, las condiciones con $SII = 0.20$ se clasificarían como menos que una privacidad de la palabra “Aceptable”. Es decir, incluso si cumplimos nuestro objetivo de diseños del $AI = 0.15$ (ó $SII = 0.20$), los ocupantes de la oficina no encontrarán la privacidad de la palabra muy aceptable. Se puede estimar, a partir de estos resultados, que la privacidad de la palabra “Aceptable” correspondería a las condiciones con un $SII \leq 0.15$ (correspondiente al $AI \leq 0.10$).

En el segundo experimento (denominado anteriormente IERF), que se llevó a cabo en una oficina paisajística experimental, se pidió también a los sujetos clasificar la sonoridad relativa de los ruidos ambiente simulados. Por supuesto, esto se hizo en presencia de palabras no deseadas en forma de conversaciones telefónicas procedentes de un puesto de trabajo adyacente y mientras que los sujetos estaban desarrollando diversas tareas relacionadas con el ordenador. Tras cada sesión de 20 minutos, se les pidió clasificar el ruido ambiente en una escala del 1 al 5 desde “Demasiado bajo” hasta “Demasiado alto”. El punto intermedio era el neutral, “Ni alto ni bajo”. Este punto intermedio neutral corresponde a un nivel óptimo de ruido am-

about 45 dBA to be an optimum compromise that maximizes masking and hence increases speech privacy without being too disturbing.

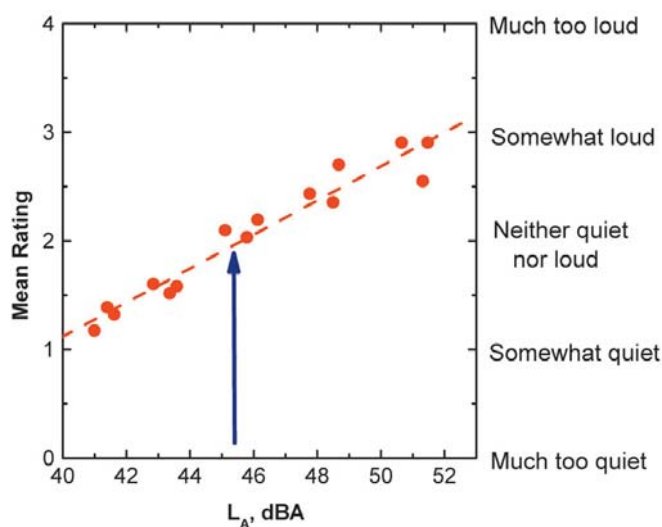


Figure 5. Mean rating of loudness of simulated ambient noise in open-plan offices in presence of unwanted speech sounds.

Open-Plan Office Design Requirements

Because it is very difficult to create acoustical conditions in an open-plan office that occupants will find to represent acceptable speech privacy, it is particularly important that the design process results in the best possible solution within various practical constraints. We can never achieve a high enough level of speech privacy, but if done well it can be ‘almost acceptable’. Various studies were carried out to explore the relationships between various open office design parameters and the resulting AI or SII ratings of the office, so that an improved design process could be developed.

Measurements of sound propagation between a pair of mock-up workstations were used to evaluate the influence of the dimensions and acoustical properties of the components of the workstations [11, 16]. Table 1 summarises the relative importance of the various parameters and lists recommended values. An open-plan office can only meet the design goal of $AI \leq 0.15$, if the various parameters given in Table 1 have values close to these recommended values.

A computer model of sound propagation between workstations was developed based on an image sources model [17-20]. This was validated with respect to the systematic measurements and also in real open-plan offices. This com-

parte para estos sujetos. El resultado, que se muestra en la Figura 5, es que un nivel de ruido ambiente de aproximadamente 45 dBA se considera como óptimo para una oficina paisajística. Esto significa que, los sujetos consideran un nivel de ruido ambiente de aproximadamente 45 dBA un compromiso óptimo que maximiza el enmascaramiento y por lo tanto aumenta la privacidad de la palabra sin ser molesto en exceso.

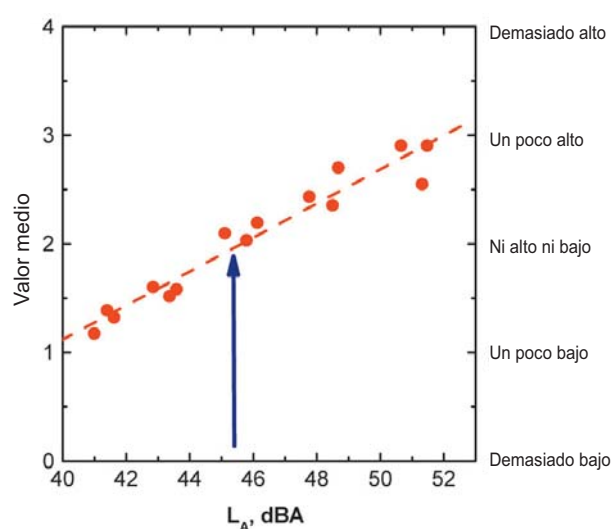


Figura 5. Valor medio de la sonoridad de un ambiente simulado en oficinas paisajísticas en presencia de sonidos de palabra no deseados

Requisitos de diseño de las oficinas paisajísticas

Dado que es muy difícil crear condiciones acústicas en una oficina paisajística que los ocupantes consideran que tiene una privacidad de la palabra aceptable, es especialmente importante que el proceso de diseño sea la mejor solución posible dentro de las varias imposiciones prácticas. Nunca podemos alcanzar un nivel lo suficientemente alto de privacidad de la palabra, pero si se hace bien puede ser ‘casi aceptable’. Se llevaron a cabo varios estudios para explorar la relación entre los diferentes parámetros de diseño de oficina paisajística y los índices resultantes del AI ó del SII, para que se pudiese desarrollar un proceso de diseño mejorado.

Las mediciones de la propagación sonora entre un par de puestos de trabajo a escala se utilizaron para evaluar la influencia de las dimensiones y las propiedades acústicas de los componentes de los puestos de trabajo [11, 16]. La Tabla 1 resume la importancia relativa de los diversos parámetros y lista los valores recomendados. Una oficina paisajística solo puede alcanzar el objetivo de diseño del $AI \leq 0.15$, si los diversos parámetros indicados en la Tabla 1 tienen valores próximos a estos valores recomendados.

Se desarrolló un modelo por ordenador de la propagación sonora entre puestos de trabajo basado en un modelo de fuentes

puter design tool is available free [21]. Once validated, the model was used to explore the importance of individual design parameters. Figure 6 illustrates the calculation results used to determine the minimum required ceiling absorption. It is based on calculations for an adjacent pair of workstations for which all parameters, except ceiling absorption, met those recommended in Table 1. Only the ceiling absorption was varied by using the sound absorption data from a variety of ceiling tiles. These results indicate that when all other details are near ideal the sound absorption of the ceiling must correspond to a Sound Absorption Average (SAA) [22] of at least 0.90 to meet the design goal of $AI \leq 0.15$.

imagen [17-16]. Esto se validó con respecto a las mediciones sistemáticas y también en las oficinas paisajísticas. Esta herramienta de diseño por ordenador está disponible de forma gratuita [21]. Una vez validado, el modelo se utilizó para explorar la importancia de los parámetros de diseño individuales. La Figura 6 muestra los resultados de cálculo utilizados para determinar la absorción del techo mínima requerida. Está basado en los cálculos para un par de puestos de trabajo adyacentes para los que todos los parámetros, excepto la absorción del techo, cumplen con lo recomendado en la Tabla 1. Únicamente se varió la absorción del techo utilizando los datos de la absorción sonora de una variedad de placas del techo. Estos resultados indican que cuando todos los demás detalles se aproximan al ideal, la absorción sonora del techo debe corresponder con un Promedio de la Absorción Sonora (SAA) [22] de al menos 0.90 para cumplir con el objetivo de diseño del $AI \leq 0.15$.

Table 1. Relative importance of workstation design parameters and their preferred values for achieving the speech privacy design goal $AI \leq 0.15$.

Tabla 1. Importancia relativa de los parámetros del diseño del puesto de trabajo y sus valores preferidos para obtener el objetivo de diseño de privacidad de la palabra $AI \leq 0.15$.

Relative Importance	Parameters	Preferred values
Most important	Ceiling absorption Panel height	SAA ≥ 0.90 Panel height ≥ 1.7 m
Less Important	Workstation plan size Panel absorption Panel transmission loss	Length ≥ 2.5 m SAA ≥ 0.70 STC ≥ 20
Least important	Lighting Ceiling height Floor absorption Office layout	Open grill fixtures Height ≥ 2.7 m Carpet Avoid inter workstation paths

Importancia Relativa	Parámetros	Valores preferidos
Más importante	Absorción del techo Altura del panel	SAA ≥ 0.90 Altura del panel ≥ 1.7 m
Menos importante	Tamaño de la superficie del puesto de trabajo Absorción del panel Pérdida por transmisión del panel	Longitud ≥ 2.5 m SAA ≥ 0.70 STC ≥ 20
El menos importante	Iluminación Altura del techo Absorción del suelo Disposición de la oficina	Fijaciones de la rejilla abiertas Altura ≥ 2.7 m Moqueta Evitar vías de transmisión entre puestos de trabajo

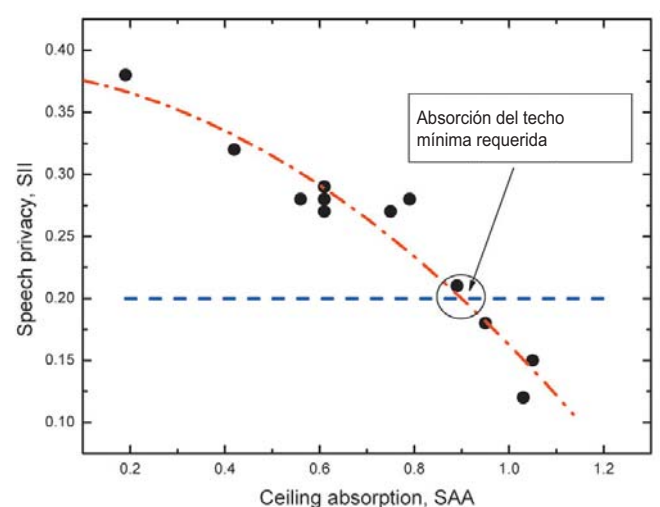
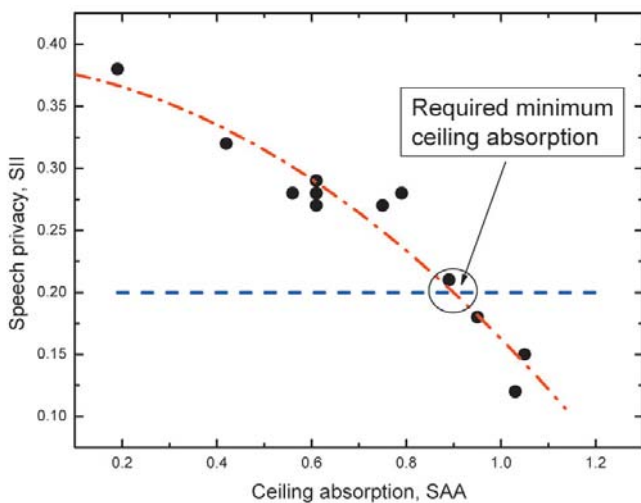


Figure 6. Calculated SII values for varied ceiling absorption for otherwise ideal workstation designs.

Figura 6. Valores SII calculados para la absorción del techo de diseños de puestos de trabajo ideales diferentes

Figure 7 illustrates possible combinations of the two most important office design parameters that will result in $SII \leq 0.20$ (approximately $AI \leq 0.15$). Although there is some possibility of selecting different combinations of these two parameters, most combinations will not provide conditions with $SII \leq 0.20$.

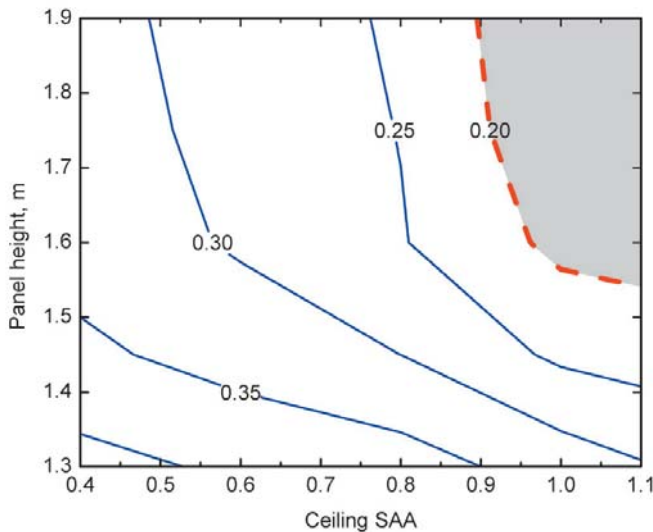


Figure 7. Resulting SII values for combinations of various ceiling absorptions and workstation panel heights. The shaded area shows where $SII \leq 0.20$.

When predicting expected speech privacy in an open-plan office, one must also consider the voice levels used by occupants of open-plan offices. Although so called ‘normal’ voice levels are often used [10], they are not appropriate for most open-plan office situations. Measurements of voice levels of open-plan office occupants [23] have shown average voice levels are close to those described as ‘Casual’ by Pearsons [24]. In our design calculations we have used the spectrum of an Intermediate Office Speech Level (IOSL) [11,12] which is one standard deviation higher in level than mean voice levels found in the open-plan offices.

The new work has confirmed the apparent consensus of many previous practical studies and provided a quantitative understanding of the importance of various design parameters as well as the meaning of particular design goals. The results support the basic idea that for an open-plan office to be at all acceptable, there must be extensive sound absorption treatments and appropriate ambient/masking noise levels. If this is not the case then near-to-acceptable speech privacy is not possible. Of course, the amount of privacy desired will depend on the types of tasks that the occupants are performing.

La Figura 7 muestra posibles combinaciones de los dos parámetros más importantes del diseño de oficina que da como resultado $SII \leq 0.20$ (aproximadamente $AI \leq 0.15$). Aunque existe alguna posibilidad de escoger diferentes combinaciones de estos dos parámetros, la mayoría de combinaciones no aportará condiciones con $SII \leq 0.20$.

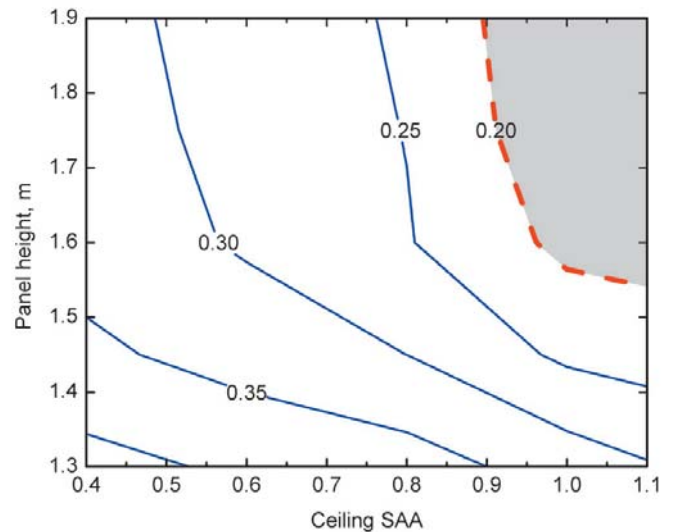


Figura 7. Valores SII resultantes para combinaciones de varias absorciones del techo y alturas de panel del puesto de trabajo. El área sombreada muestra dónde $SII \leq 0.20$.

Cuando se predice la privacidad de la palabra que se espera en una oficina paisajística, también se tienen que tener en cuenta los niveles de voz usados por los ocupantes de las oficinas paisajísticas. Aunque se utilizan a menudo las denominadas voces ‘normales’ [10], no son las adecuadas para la mayoría de situaciones de oficinas paisajísticas. Las mediciones de los niveles de voz de los ocupantes de las oficinas paisajísticas [23] han mostrado que los niveles de voz medios están próximos a los descritos como ‘Informales’ por Pearsons [24]. En nuestros cálculos de diseño, hemos utilizado el espectro de un Nivel de Palabra de Oficina Intermedio (IOSL) [11, 12] que está una desviación típica más alta en nivel que los niveles de voz medios hallados en las oficinas paisajísticas.

El nuevo trabajo ha confirmado el aparente consenso de muchos estudios prácticos anteriores y ha aportado un entendimiento cuantitativo de la importancia de varios parámetros de diseño así como el significado de los objetivos de diseño particulares. Los resultados apoyan la idea básica de que, para que una oficina paisajística sea totalmente aceptable, deben existir amplios tratamientos de la absorción sonora y unos niveles de ruido ambiente/enmascaramiento apropiados. Si este no es el caso, entonces no es posible una privacidad de la palabra cercana a aceptable. Por supuesto, la cantidad de privacidad deseada dependerá de los tipos de tareas que los ocupantes estén realizando.

Architectural speech security for enclosed offices and meeting rooms

There is often a need to design enclosed offices and meeting rooms to be ‘speech secure’. ‘Speech secure’ means that it is very difficult or impossible for eavesdroppers outside the room to understand or in some cases even hear speech from the meeting room. That is, ‘speech secure’ simply implies a high level of speech privacy associated with the architectural aspects of speech propagation from the meeting room. This work does not include electronic techniques for enhancing the detection of speech from adjacent rooms. Figure 8 shows, that in addition to direct transmission through walls and floor-ceilings, speech can be transmitted through various paths with less sound attenuation such as through ventilation ducts. There are often various sound leaks and weak components in the sound insulation of the room, such as those associated with doors. Thus, a measurement procedure is required that is capable of detecting weaknesses in individual components of the sound insulation of an office or meeting room.

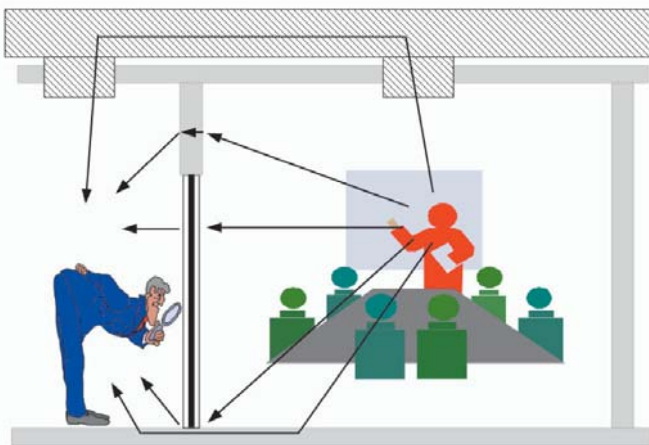


Figure 8. Speech from a meeting room can be transmitted to the position of an eavesdropper outside the room by direct paths, flanking paths and through sound leaks.

Measurement Procedure for Assessing the Speech Security of Enclosed Meeting Rooms

The new procedure for assessing the architectural speech security of a meeting room is based on sound level differences from room-average levels in the meeting room to spot-receiver positions outside the meeting room. This is different than conventional sound insulation measurements that are based on differences between room-average levels in two adjacent rooms

Seguridad de la palabra, desde el punto de vista arquitectónico, para oficinas cerradas y salas de reuniones

A menudo existe la necesidad de diseñar oficinas cerradas y salas de reuniones para tener “la palabra segura”. “La palabra segura” significa que es muy difícil o imposible para los escuchadores furtivos, fuera del recinto, entender o en algunos casos incluso oír palabras procedentes de la sala de reuniones. Es decir, “la palabra segura” simplemente implica un alto nivel de privacidad de la palabra asociada con los aspectos arquitectónicos de la propagación de la palabra procedente de una sala de reuniones. Este estudio no incluye las técnicas electrónicas para aumentar la detección de la palabra procedente de recintos adyacentes. La Figura 8 muestra que, además de la transmisión directa a través de las paredes y los suelos y techos, la palabra se puede transmitir a través de varias vías con menor atenuación sonora tales como los conductos de ventilación. A menudo existen varias fugas sonoras y componentes débiles del aislamiento acústico del recinto, tales como los asociados a las puertas. Por ello, se requiere un procedimiento de medición que sea capaz de detectar las partes débiles en los componentes individuales del aislamiento acústico de una oficina o una sala de reuniones.

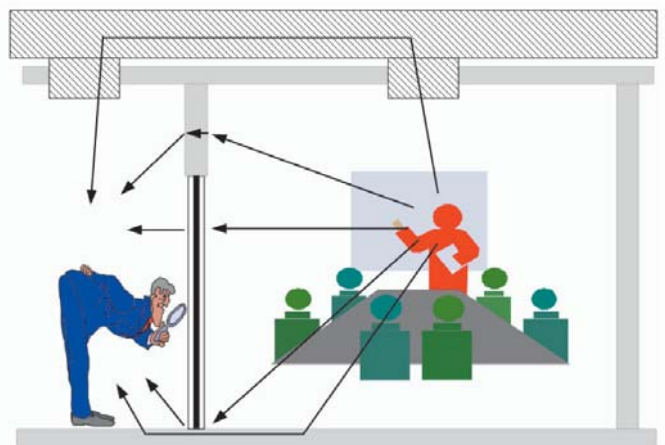


Figura 8. Las palabras procedentes de una sala de reuniones se pueden transmitir a la posición de un escuchador furtivo fuera del recinto por medio de vías directas, vías por flancos o a través de fugas sonoras.

Procedimiento de medición para determinar la seguridad de la palabra de salas de reuniones cerradas

El nuevo procedimiento para determinar la seguridad “arquitectónica” de la palabra de una sala de reuniones está basado en las diferencias del nivel sonoro entre los niveles promedio del recinto en la sala de reuniones y las posiciones receptoras puntuales fuera de la sala de reuniones. Esto es distinto a las mediciones del aislamiento acústico convencional que están basadas en las diferencias entre los niveles promedio en dos sa-

[25,26]. However, the conventional approaches are not appropriate for assessing speech security for several reasons. First, the conventional approach assumes diffuse sound fields in both rooms and measures only the average transmission characteristics of the separating partition. For speech security situations, the adjacent space is quite frequently not at all diffuse. For example, it could be very small or very large or of quite unusual dimensions. Second, we need to assess the sound transmission characteristics of individual components and not just the average properties of the separating partition. Third, an eavesdropper is not likely to stand in the middle of the adjacent space, but is much more likely to stand close to the outside of the meeting room and at some weak point in the sound insulation such as near a door.

In the source room, measurements are similar to conventional sound transmission measurements. Multiple source and receiver positions are used to accurately characterise the average source room sound levels in 1/3 octave bands from 160 to 5k Hz. In adjacent spaces sound levels of the same test source are measured at positions where an eavesdropper might detect speech sounds from the meeting room. Most of these receiver positions would be located 0.25 m from the outside of the meeting room. Some would be specifically located to assess potential weak points in the sound insulation such as near doors but usually at a distance of 0.25 m from the door. A distance of 0.25 m was selected because it minimizes the effect of any reverberant sound field but is not so close to the test surfaces that small errors in positioning the microphone will cause large variations in the results. Although it was not known when this approach was developed, it is essentially the same as a Japanese standard [27] that is used to measure sound transmission from indoors to outdoors through windows.

The measured transmitted sound level 0.25 m from the outside of the meeting room ($L_{0.25}$) can be related to the sound transmission loss (TL) characteristics of the partition and the levels of the test sound in the source room (L_s) using equation (1).

$$L_{0.25} = L_s - TL + k, dB \quad (1)$$

The constant k is estimated to be -3 in some textbooks [28]. However, in this work it was determined experimentally by measuring the sound transmission characteristics of several walls in a reverberant test suite to provide standard TL values as a function of frequency.

las adyacentes [25, 26]. Sin embargo, los planteamientos convencionales no son adecuados para determinar la seguridad de la palabra por varios motivos. En primer lugar, el planteamiento convencional asume campos sonoros difusos en ambos recintos y mide únicamente las características de la transmisión media de la partición de separación. Para situaciones de seguridad en la palabra, el espacio adyacente es con bastante frecuencia nada difuso. Por ejemplo, podría ser muy pequeño o muy grande o de dimensiones bastante inusuales. En segundo lugar, debemos determinar las características de la transmisión sonora de los componentes individuales y no simplemente las propiedades medias de la partición de separación. En tercer lugar, no es probable que el escuchador furtivo esté situado en el centro del espacio adyacente, sino más bien cerca de la salida de la sala de reuniones y en algún punto débil en el aislamiento acústico como por ejemplo cerca de una puerta.

En el recinto de la fuente, las mediciones son similares a las mediciones de transmisión acústica convencionales. Se utilizan múltiples posiciones de la fuente y del receptor para caracterizar con precisión los niveles sonoros del recinto de la fuente promedio en bandas de 1/3 de octava desde 160 a 5 kHz. En los espacios adyacentes, los niveles sonoros de la misma fuente de ensayo se miden en posiciones donde un escuchador furtivo podría detectar los sonidos de palabras procedentes de una sala de reuniones. La mayoría de estas posiciones del receptor se colocarían a 0.25 m del exterior de la sala de reuniones. Algunas se colocarían específicamente para determinar los posibles puntos débiles en el aislamiento acústico, como por ejemplo cerca de las puertas, pero generalmente a una distancia de 0.25 m de la puerta. Se escogió una distancia de 0.25 m porque minimiza el efecto de cualquier campo acústico reverberante pero no está tan cerca de las superficies de ensayo que, en la posición del micrófono, pequeños errores provocarían grandes variaciones en los resultados. Aunque no se sabe cuando se desarrolló este planteamiento, es esencialmente el mismo que una norma Japonesa [27] que se utiliza para medir la transmisión acústica desde el interior al exterior a través de las ventanas.

El nivel sonoro transmitido, medido a 0.25 m desde el exterior de la sala de reuniones ($L_{0.25}$) se puede relacionar con las características de la pérdida por transmisión acústica (TL) de la partición y de los niveles de sonido del ensayo en el recinto de la fuente (L_s) utilizando la ecuación (1).

$$L_{0.25} = L_s - TL + k, dB \quad (1)$$

La constante k se estima en -3 en algunos libros de texto [28]. Sin embargo, en este trabajo se determinó de forma experimental midiendo las características de la transmisión sonora de varias paredes en un recinto de ensayo reverberante para aportar valores TL típicos en función de la frecuencia. Las me-

Transmission measurements were then made to an array of points 0.25 m from the test wall and the reverberation time of the test rooms varied by adding sound absorption to them. This made it possible to determine the effect of reverberant sound levels on k for a range of conditions.

Figure 9 plots the resulting k values (as frequency averaged values over the speech frequencies from 160 to 5k Hz), versus the reverberant sound level ($10 \log\{4T_{60}/V\}$, where T_{60} is reverberation time, s; V is room volume, m^3). Although the standard error about the regression line is quite small (± 0.19 dB) and hence k values could be estimated quite accurately, for most common types of meeting rooms, $k \approx -1 \pm 0.5$ dB. Thus, equation (1) with a k value of -1 should usually provide good estimates of expected transmitted levels at points 0.25 m from the outside boundaries of a meeting room.

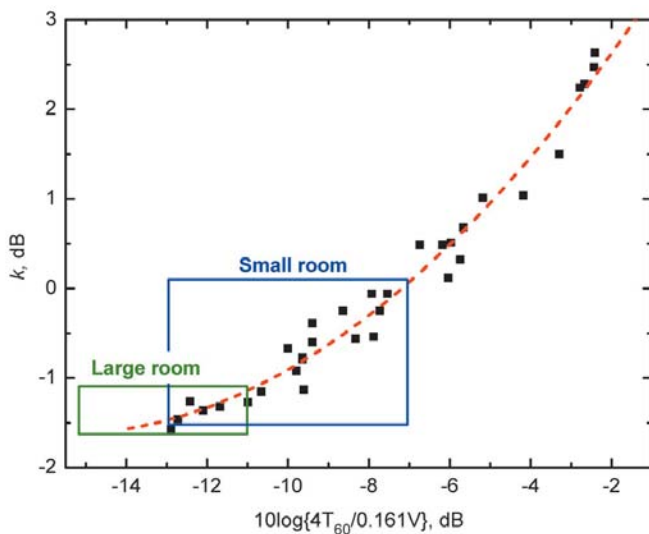


Figure 9. Experimentally determined values for k averaged over the speech frequencies 160-5k Hz. Boxes refer to the results expected in smaller meeting rooms ($150 m^3$, T_{60} 0.3 to 1.2 s) and larger meeting rooms ($500 m^3$, T_{60} 0.5 to 1.6s).

The Statistics of Speech Security

The audibility and intelligibility of speech sounds transmitted to adjacent spaces will depend on 3 factors: (1) the sound transmission characteristics of the room boundaries, (2) the speech levels in the meeting room and especially those incident on the boundaries of the room, and (3) the ambient noise levels at listening points outside the meeting room. The sound transmission characteristics can either be measured using the new measurement procedure or can be estimated using equation (1). The speech levels in the meeting room and the ambient

condiciones de transmisión se llevaron a cabo entonces en un conjunto de puntos a 0.25 m de la pared de ensayo y los tiempos de reverberación de los recintos de ensayo se variaron añadiéndoles absorción sonora. Esto hizo posible determinar el efecto de los niveles sonoros reverberantes en k para un margen de condiciones.

La Figura 9 muestra los valores de k resultantes (como valores de frecuencia promediados sobre las frecuencias de la palabra desde 160 a 5 k Hz), frente al nivel sonoro reverberante ($10 \log\{4T_{60}/V\}$, donde T_{60} es el tiempo de reverberación, en s; V es el volumen del recinto, en m^3). Aunque el error típico sobre la línea de regresión es bastante pequeño (± 0.19 dB) y por lo tanto los valores de k se pueden estimar con bastante precisión, para la mayoría de tipos comunes de las salas de reuniones, $k \approx -1 \pm 0.5$ dB. Por ello, la ecuación (1) con un valor k de -1, debería aportar generalmente buenas estimaciones de los niveles transmitidos esperados en puntos a 0.25 m de los límites exteriores de una sala de reuniones.

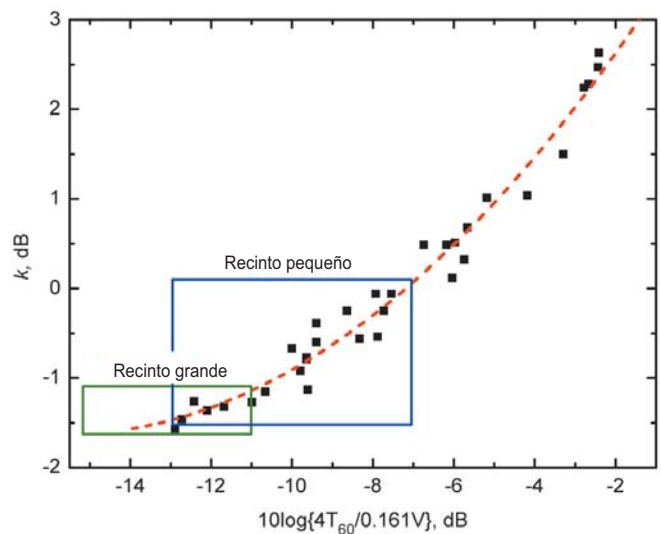


Figura 9. Valores determinados de forma experimental para k , promediados sobre las frecuencias de la palabra de 160-5k Hz. Los rectángulos se refieren a los resultados esperados en salas de reuniones más pequeñas ($150 m^3$, T_{60} 0.3 a 1.2s) y en salas de reuniones más grandes ($500 m^3$, T_{60} 0.5 a 1.6s).

Las estadísticas de la seguridad en la palabra

La audibilidad y la inteligibilidad de los sonidos de palabra transmitidos a espacios adyacentes dependerán de tres factores: (1) las características de transmisión sonora de los límites del recinto, (2) los niveles de palabra en la sala de reuniones y especialmente aquellos incidentes en los límites del recinto y, (3) los niveles de ruido ambiente en los puntos de escucha fuera de la sala de reuniones. Las características de la transmisión sonora se pueden medir utilizando el nuevo procedimiento de medición o se pueden estimar utilizando la ecuación (1). Los niveles de palabra en la sala de reuniones y los niveles de ruido am-

noise levels outside the meeting room will vary from moment to moment and must be described statistically. We can think in terms of the probability of speech being heard or understood determined from the likelihood of particular higher speech levels occurring in the meeting room and particular lower ambient noise levels existing outside the meeting room.

Table 2. Summary of meeting rooms measured. (includes 30 different rooms, 2 of which were measured with and without sound amplification systems).*

Number of meeting room cases*	32
Number of meetings measured	79
Number of people in each meeting	2 to 300 people
Range of room volumes	39 to 16,000 m ³
Range of room floor areas	15 to 570 m

The distribution of speech levels in meeting rooms was determined by installing data loggers to provide sound levels at 10 s intervals in a range of meeting rooms and for a number of meetings. Table 2 lists some details of the meeting rooms included. Data loggers were located around the periphery of the rooms so that the speech levels were representative of speech sounds incident on the room boundaries. Although data was acquired for meetings with and without sound amplification systems, the resulting speech levels were very similar and so the data were combined. (Although amplification was used in some larger rooms, the speech levels incident on the room boundaries were similar to the unamplified speech levels found in smaller rooms). In total more than 100,000 measured speech levels over 10 s intervals were acquired.

The cumulative probability distribution of the combined speech data is shown in Figure 10. The dotted cross lines indicate the example that for 90% of the time, the measured speech levels were 64 dBA or less. That is, for only 10% of the time did the speech levels exceed 64 dBA in the meeting rooms.

Ambient noise levels in spaces adjacent to meeting rooms were similarly sampled. Figure 11 shows plots of cumulative probability distributions of noise levels in spaces adjacent to meeting rooms and for different times of day. As would be expected, ambient noise levels were highest during the daytime and lowest at night. The distribution for ambient noise levels in the early evening (17:00-21:00) is used in for estimations of speech security because noise levels were lower than during daytime (8:00-17:00), but meetings were still frequently held in

biente fuera de la sala de reuniones variarán por momentos y se deberá describir estadísticamente. Podemos pensar en términos de probabilidad de la palabra que es oída o comprendida, determinada a partir de la probabilidad de niveles de palabra altos particulares que se producen en una sala de reuniones y niveles de ruido ambiente bajos particulares existentes fuera de la sala de reuniones.

Tabla 2. Resumen de las salas de reuniones medidas. (incluye 30 salas diferentes, 2 de las cuales fueron medidas con y sin sistemas de amplificación del sonido).*

Número de salas de reuniones *	32
Número de reuniones medidas	79
Número de personas en cada reunión	2 a 300 personas
Rango de volúmenes de la sala	39 a 16,000 m ³
Rango de áreas del suelo de la sala	15 a 570 m ²

La distribución de los niveles de palabra en las salas de reuniones se determinó instalando registradores de datos para recoger niveles sonoros en intervalos de 10 s en una serie de salas de reuniones y en un número de reuniones. La Tabla 2 lista algunos detalles de las salas de reuniones incluidas. Los registradores de datos se colocaron en torno a la periferia de las salas de manera que los niveles de palabra fueran representativos de los sonidos de la palabra incidentes en los límites de la sala. Aunque los datos se adquirieron para reuniones con y sin sistemas de amplificación del sonido, los niveles de palabra resultantes fueron muy parecidos y de este modo se combinaron los datos. (Aunque la amplificación se utilizó en algunas salas grandes, los niveles de palabra incidente en los límites de la sala eran similares a los niveles de palabra no amplificados hallados en salas más pequeñas). En total, se adquirieron más de 100,000 niveles de palabra medidos en intervalos de 10 s.

En la Figura 10 se muestra la distribución de probabilidad acumulativa de los datos de palabra combinados. Las líneas transversales punteadas indican por ejemplo que, para el 90% de las veces, los niveles de palabra medidos eran de 64 dBA o inferiores. Esto significa que, solo para el 10% de tiempo los niveles de palabra superaron los 64 dBA en las salas de reuniones.

Los niveles de ruido ambiente en espacios adyacentes a salas de reuniones se muestrearon de forma similar. La Figura 11 muestra gráficas de distribuciones de probabilidad acumulativa de niveles de ruido en espacios adyacentes a las salas de reuniones y para diferentes horas del día. Como se esperaba, los niveles de ruido ambiente fueron más elevados durante el día y más bajos por la noche. La distribución de los niveles de ruido ambiente a primera hora de la tarde (17:00-21:00) se utiliza para estimaciones de la seguridad en la palabra porque los ni-

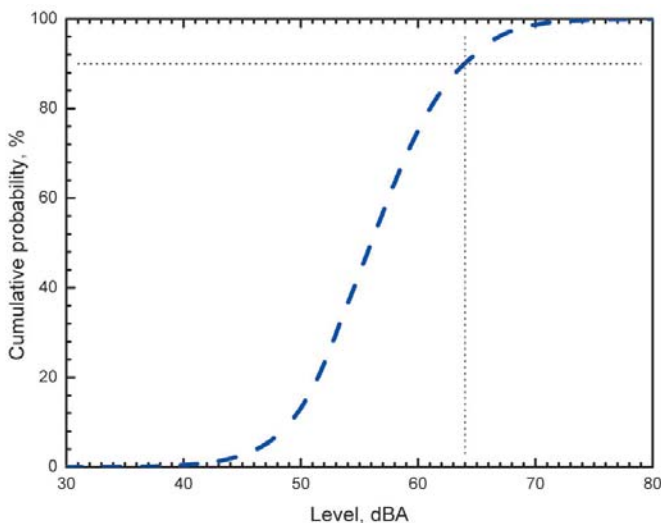
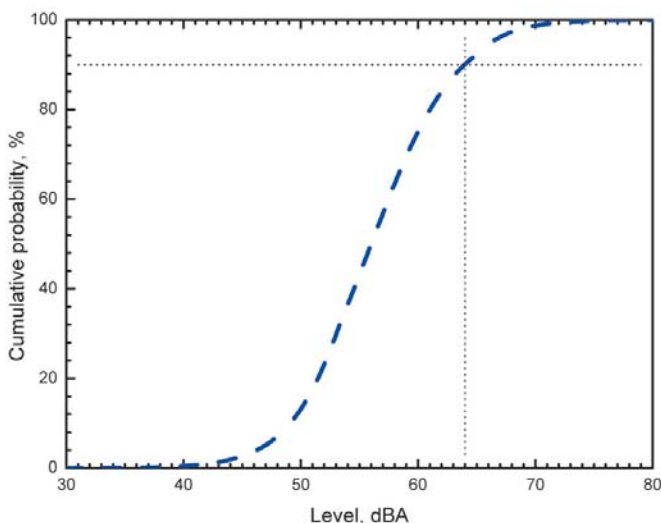


Figure 10. Cumulative probability distribution of measured speech levels in meeting rooms.

Figura 10. Distribución de probabilidad acumulativa de los niveles de palabra medidos en salas de reuniones.

this time period. The crossed dotted lines in Figure 11 illustrate the example that during the early evening, the ambient noise levels were less than 33.5 dBA for 10% of the time.

veles de ruido eran más bajos que durante el día (8:00-17:00), pero las reuniones se seguían manteniendo en este período de tiempo. Las líneas transversales punteadas en la Figura 11 ilustran el ejemplo de que durante la primera hora de la tarde, los niveles de ruido ambiente eran inferiores a 33.5 dBA en el 10% de los casos.

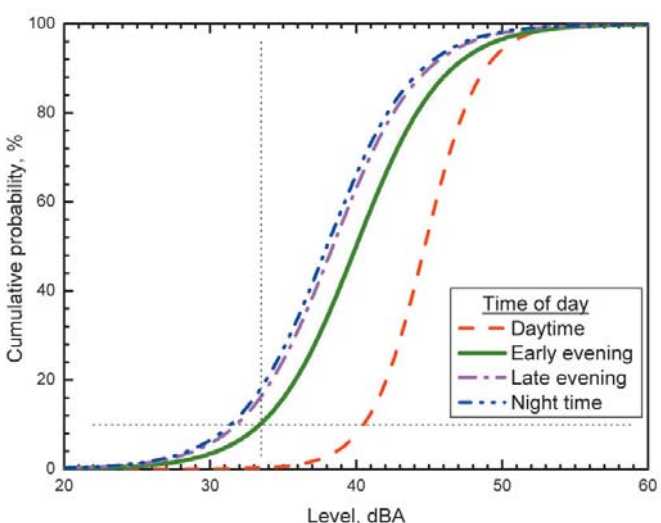
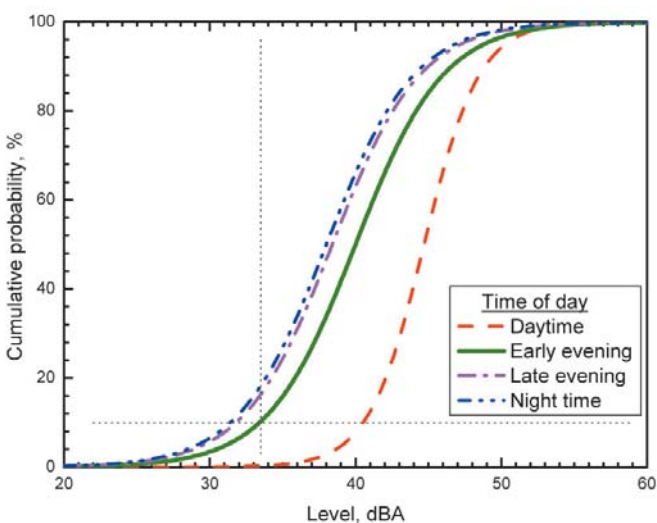


Figure 11. Cumulative probability distributions of measured ambient levels in spaces adjacent to meeting rooms.

Figura 11. Distribuciones de probabilidad acumulativa de los niveles ambiente medidos en espacios adyacentes a las salas de reuniones.

In the examples above, the meeting room speech level was greater than 64 dBA for 10% of the time and the ambient noise levels in adjacent spaces were less than 33.5 dBA for 10% of the time. Since the speech and noise levels are from separate spaces, it is reasonable to assume that the distributions of source room speech levels and spot-receiver ambient noise levels are independent. In this case the probability of both a speech level exceeding 64 dBA and an ambient noise level less than 33.5 dBA is the product of their separate probabilities, or 1%.

En el ejemplo anterior, el nivel de palabra de la sala de reuniones era superior a 64 dBA en el 10% de los casos y los niveles de ruido ambiente en espacios adyacentes eran inferiores a 33.5 dBA para el 10% de los casos. Dado que los niveles de ruido y de palabra proceden de espacios separados, es razonable asumir que las distribuciones de los niveles de palabra de la sala fuente y los niveles de ruido ambiente de la receptora son independientes. En este caso, la probabilidad de un nivel de palabra que exceda de 64 dBA y un nivel de ruido ambiente inferior a 33.5 dBA, es el producto de sus probabilidades separadas, o el 1%.

Measures of the Audibility and Intelligibility of Speech

The audibility and intelligibility of speech sounds transmitted into adjacent spaces will depend on the signal-to-noise ratio at the listener's position outside the meeting room. New signal-to-noise ratio measures were developed [29] from extensive listening tests because existing measures were not found to be sufficiently accurate predictors of the intelligibility and audibility of the transmitted speech sounds. The listening tests used the Harvard Sentences [14] and exposed subjects to speech that was spectrally modified to represent the effects of transmission through various walls. The speech was heard in combination with simulated ambient noises in the experimental set up shown in Figure 1.

It is well known that AI values are more accurate indicators of the intelligibility of speech than simple differences of the A-weighted speech and noise levels. Figure 12 illustrates this by comparing plots of speech intelligibility scores versus AI values and differences of A-weighted speech and noise levels ($S/N(A)$). There is an obvious difference in the amount of scatter in the two plots and AI values are clearly a more accurate predictor of the speech intelligibility scores.

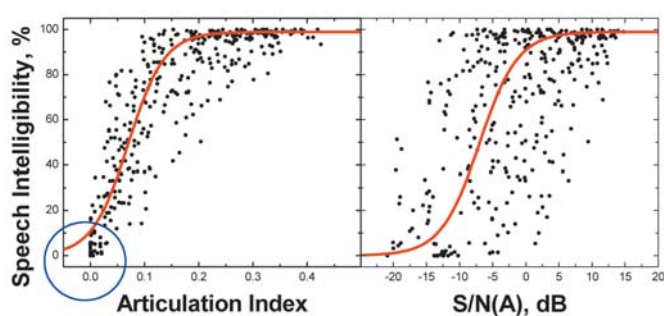


Figure 12. Comparison of speech intelligibility scores versus AI values and $S/N(A)$ values [29]. The circle indicates where AI is a less successful measure.

Although the AI values are superior to the $S/N(A)$ values, the AI values do not provide accurate ratings of conditions close to $AI = 0$ and cannot rate conditions below $AI = 0$ where AI is not defined. For rating the speech security of meeting rooms, one is interested in rating conditions where the intelligibility of the transmitted speech is close to zero. In some cases one would like to determine whether the transmitted speech will be audible. This is not possible using AI values.

The new listening tests [29] showed that frequency-weighted sums of signal-to-noise ratios in decibels could be much better predictors of both the audibility and intel-

Mediciones de la audibilidad y de la inteligibilidad de la palabra

La audibilidad y la inteligibilidad de los sonidos de la palabra transmitidos a espacios adyacentes dependerán de la relación señal/ruido en la posición del oyente fuera de la sala de reuniones. Se desarrollaron nuevas mediciones de la relación señal/ruido [29] de muchos ensayos de escucha, porque las mediciones existentes no parecieron ser indicadores lo suficientemente precisos de la inteligibilidad y audibilidad de los sonidos de la palabra transmitida. Los ensayos de escucha utilizaron las Frases de Harvard [14] y expusieron a sujetos a la palabra que se modificó espectralmente para representar los efectos de la transmisión a través de varias paredes. La palabra se oyó en combinación con ruidos ambiente simulados en la disposición experimental mostrada en la Figura 1.

Es bien sabido que los valores del AI son indicadores más precisos de la inteligibilidad de la palabra que las simples diferencias de los niveles de ruido y de la palabra ponderados A. La Figura 12 ilustra esto, comparando las gráficas de los resultados de la inteligibilidad de la palabra frente a los valores del AI y las diferencias de los niveles de ruido y de palabra ponderados A ($S/N(A)$). Existe una diferencia obvia en la cantidad de dispersión en las dos gráficas y los valores del AI son claramente un predictor más preciso de los resultados de la inteligibilidad de la palabra.

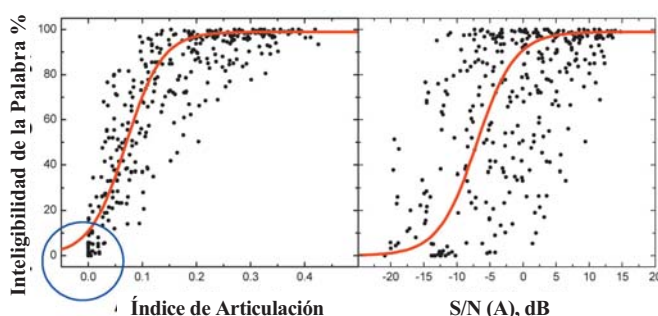


Figura 12. Comparación de los resultados de la inteligibilidad de la palabra frente a los valores del AI y a los valores $S/N(A)$ [29]. El círculo indica dónde los AI son una medición menos representativa.

Aunque los valores del AI son superiores a los valores $S/N(A)$, los valores del AI no proporcionan índices precisos en condiciones próximas a $AI = 0$ y no pueden evaluar condiciones por debajo de $AI = 0$, donde AI no está definido. Para evaluar la seguridad en la palabra de las salas de reuniones, uno está interesado en las condiciones de evaluación donde la inteligibilidad de la palabra transmitida es cercana a cero. En algunos casos, a uno le gustaría determinar si la palabra transmitida será audible. Esto no es posible utilizando los valores del AI.

Los nuevos ensayos de escucha [29] mostraron que las sumas ponderadas en frecuencia de las relaciones señal/ruido en decibelios pueden ser mucho mejores predictores de la audibi-

ligibility of transmitted speech for conditions where close to 0 intelligibility is expected. Figure 13 shows results used to determine the thresholds of audibility and intelligibility of speech in terms of a uniform-weighted signal-to-noise ratio SNR_{uni32} , given by the following equation, (where S_b and N_b are the speech and noise levels respectively at the listener's position in 1/3 octave band b).

$$SNR_{uni32} = \frac{1}{16} \sum_b \max(S_b - N_b, 32), dB \quad (2)$$

The points at which 50% of the listeners could just understand one word, just detect the cadence of the speech, or just hear any speech sounds at all, are defined as the 'just noticeable thresholds'. These are indicated in Figure 13 and listed in Table 3. Designing a meeting room so that conditions will normally correspond to the just noticeable threshold of intelligibility should result in conditions for which transmitted speech is very infrequently understood by eavesdroppers outside the room.

Table 3. Just noticeable thresholds of: intelligibility, detection of cadence and audibility.

Threshold	SNR_{uni32}
Intelligibility	-16 dB
Cadence	-20 dB
Audibility	-22 dB

From the definition of the uniform-weighted signal-to-noise ratio in equation (1), the following is approximately true,

$$SNR_{uni32} \approx L_S(avg) - LD(avg) - L_N(avg), dB \quad (3)$$

where the averages are over frequency from 160 to 5k Hz, $L_S(avg)$ is the average speech level in the source room and $L_N(avg)$ is the average noise level at the receiver position. $LD(avg)$ is the level difference indicating the attenuation of a test signal between the average source room level and the transmitted level at the listener position outside the room. .

If we wish to design to achieve $SNR_{uni32} = -16$ dB, (the threshold of intelligibility), then equation (3) becomes,

$$L_S - L_N = LD(avg) - 16, dB \quad (4)$$

lidad y de la inteligibilidad de la palabra transmitida para condiciones donde se espera una inteligibilidad cercana a 0. La Figura 13 muestra los resultados utilizados para determinar los umbrales de audibilidad e inteligibilidad de la palabra en términos de una relación señal/ruido ponderada uniforme SNR_{uni32} , indicada mediante la siguiente ecuación, (donde S_b y N_b son los niveles de palabra y de ruido respectivamente en la posición del oyente en bandas de 1/3 de octava b).

$$SNR_{uni32} = \frac{1}{16} \sum_b \max(S_b - N_b, 32), dB \quad (2)$$

Los puntos en los que el 50% de los oyentes solo podría entender una palabra, detectar la cadencia de la palabra, o simplemente oír cualquier sonido de la palabra, se definen como "los umbrales justamente apreciables". Estos se indican en la Figura 13 y se listan en la Tabla 3. Diseñar una sala de reuniones de manera que las condiciones se correspondan generalmente con el umbral justamente apreciable de inteligibilidad debe dar lugar a condiciones donde la palabra transmitida es comprendida con muy poca frecuencia por los escuchadores furtivos fuera de la sala.

Tabla 3 Umbrales justamente apreciables de: inteligibilidad, detección de cadencia y audibilidad.

Umbral	SNR_{uni32}
Inteligibilidad	-16 dB
Cadencia	-20 dB
Audibilidad	- 22 dB

De la definición de la relación señal/ruido ponderada uniforme de la ecuación (1), la expresión siguiente es aproximadamente cierta,

$$SNR_{uni32} \approx L_S(avg) - LD(avg) - L_N(avg), dB \quad (3)$$

donde los promedios son sobre frecuencias desde 160 a 5 kHz, $L_S(avg)$ es el nivel de la palabra promedio en el recinto emisor y $L_N(avg)$ es el nivel de ruido promedio en la posición del receptor. $LD(avg)$ es la diferencia de nivel que indica la atenuación de una señal de ensayo entre el nivel del recinto de la fuente promedio y el nivel transmitido en la posición del oyente fuera de la sala.

Si queremos diseñar para alcanzar $SNR_{uni32} = -16$ dB, (el umbral de la inteligibilidad), entonces la Ecuación (3) se convierte en,

$$L_S - L_N = LD(avg) - 16, dB \quad (4)$$

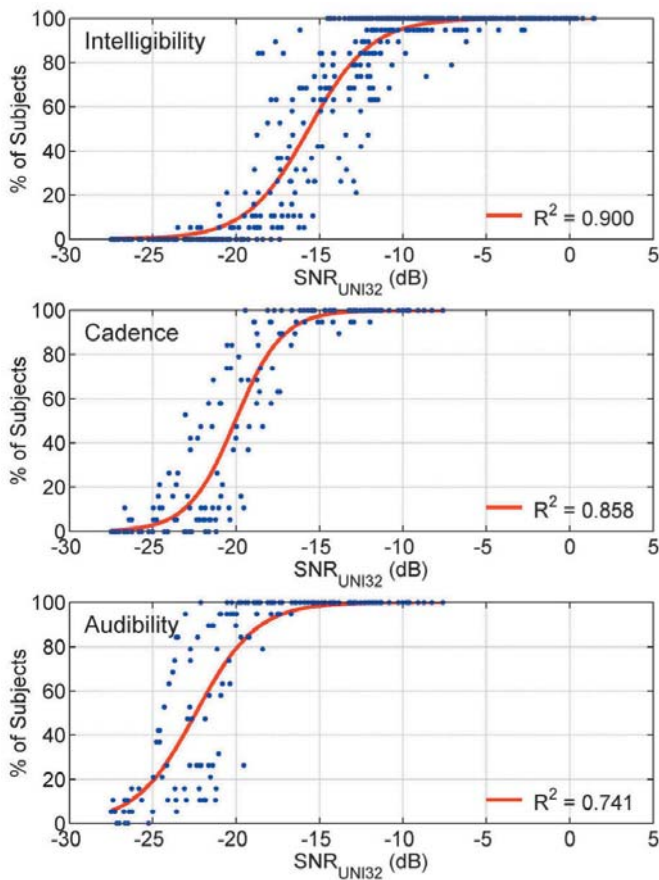


Figure 13. Percentage of subjects: (a) just understanding one word (upper), (b) just detecting the cadence of the speech (middle) and (c) just able to hear any speech sounds (lower).

That is, for some measured $LD(\text{avg})$ and a design goal of $SNR_{\text{uni32}} = -16$, a specific difference between speech level in the meeting room and noise levels at the listener position is implied. We can estimate the probability of this combination of meeting room speech level and ambient noise level at the listener position occurring by combining the results of Figures 10 and 11. By assuming that the probability of a particular speech level occurring is independent of the probability of a particular noise level occurring in the adjacent space, the probability of a combination of speech and noise levels is the product of their individual probabilities. By aligning the results of Figures 10 and 11 at equal probabilities and calculating the probability of various combinations of meeting room speech level and ambient noise level in the adjacent space, we obtain Figure 14 that can be used to estimate the probability of a particular (speech level) - (noise level) difference occurring. Of course from equation (4) we know that this is an estimate of the likelihood of the speech being just intelligible at the listener position. .

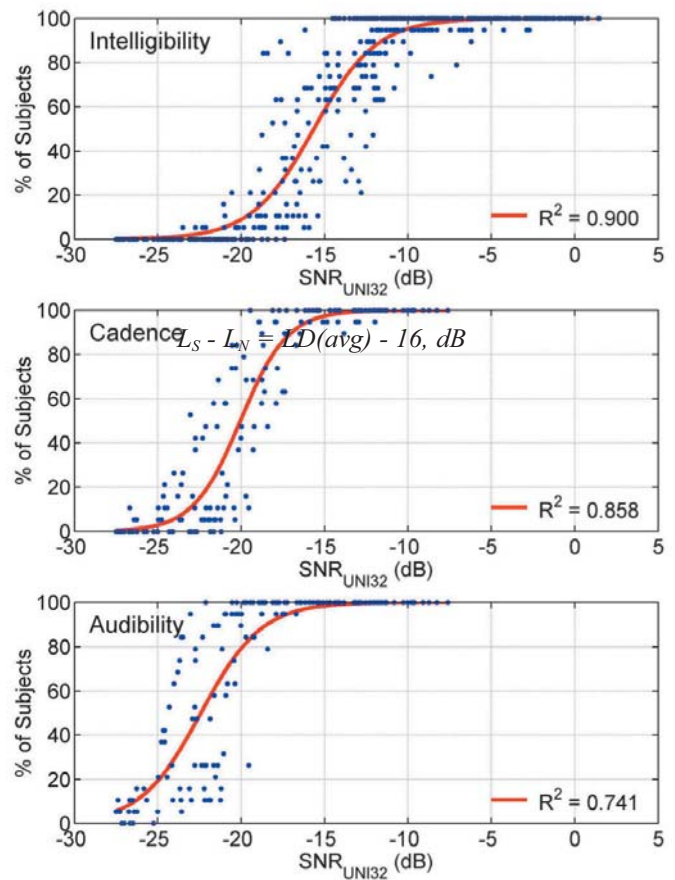


Figura 13. Porcentaje de sujetos: (a) solo comprenden una palabra (arriba), (b) solo detectan la cadencia de la palabra (centro) y (c) son capaces de oír cualquier sonido de palabra (abajo).

Esto es, para algunos $LD(\text{avg})$ medidos y una meta de diseño de $SNR_{\text{uni32}} = -16$, está en juego una diferencia específica entre el nivel de la palabra en la sala de reuniones y los niveles de ruido en la posición del oyente. Se puede estimar la probabilidad de esta combinación del nivel de la palabra de la sala de reuniones y el nivel de ruido ambiente en la posición del oyente que se produce por la combinación de resultados de las Figuras 10 y 11. Asumiendo que la probabilidad de un nivel de palabra determinado que se produce es independiente de la probabilidad de un nivel de ruido determinado que se produce en el espacio adyacente, la probabilidad de una combinación de los niveles de palabra y de ruido es el producto de sus probabilidades individuales. Alineando los resultados de las Figuras 10 y 11 a iguales probabilidades y calculando la probabilidad de varias combinaciones del nivel de la palabra de la sala de reuniones y del nivel de ruido ambiente en un espacio adyacente, obtenemos la Figura 14 que se puede utilizar para estimar la probabilidad de un particular nivel de palabra - (nivel de ruido) diferencia producida por supuesto sabemos por la ecuación (4) que esto es una estimación de la probabilidad de la palabra siendo solo inteligible en la posición del oyente.

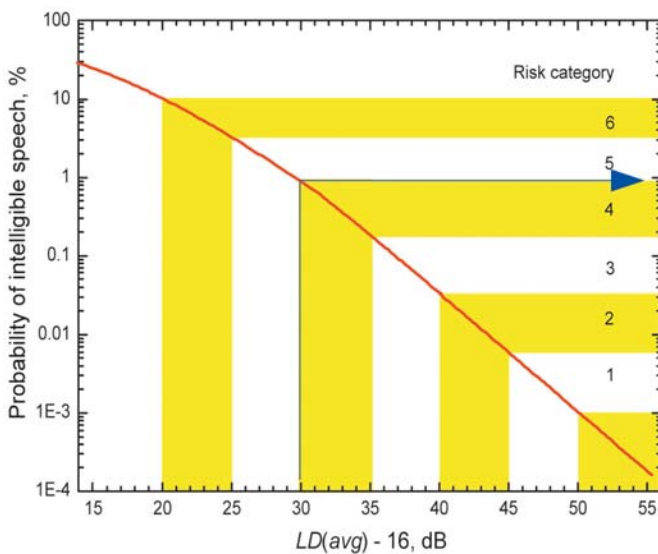


Figure 14. Probability of speech being just intelligible for measured $LD(avg)$ values. The arrow illustrates the example of an $LD(avg)$ reduced by -16 leading to a 1% probability of the transmitted speech being just intelligible.

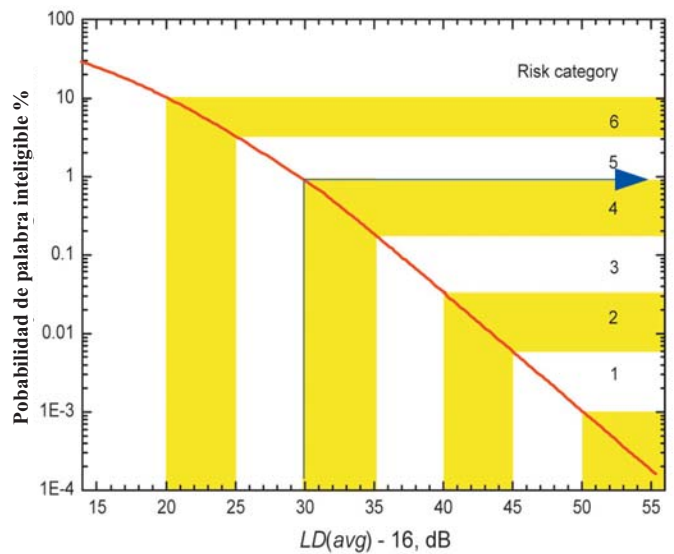


Figura 14. Probabilidad de la palabra justamente inteligible para valores $LD(avg)$ medidos. La flecha ilustra el ejemplo de un $LD(avg)$ reducido en -16 llevando a una probabilidad del 1% de la palabra transmitida justamente inteligible.

The example shown by the arrow on Figure 14 corresponds to an average measured level difference ($LD(avg)$) of 46 dB. When this is reduced by -16 , the graph indicates that there is a 1% probability of the combination speech and noise leading to intelligible speech at the listener position. If the $LD(avg)$ value were higher, then this figure would indicate an even smaller probability of the transmitted speech being intelligible. These probabilities can be translated to indicate that speech could be intelligible so many times per day or week or can be adapted to show the probability of speech being just audible rather than just intelligible.

El ejemplo que se muestra por la flecha en la Figura 14 corresponde a una diferencia del nivel medido promedio ($LD(avg)$) de 46 dB. Cuando esto se reduce en -16 , el gráfico indica que existe un 1% de probabilidad de la combinación palabra y ruido que lleva a la palabra inteligible en la posición del oyente. Si el valor de $LD(avg)$ fuese mayor, entonces este número indicaría una probabilidad incluso menor de que la palabra transmitida sea inteligible. Estas probabilidades se pueden traducir para indicar que la palabra puede ser inteligible tantas veces al día o a la semana o se puede adaptar para mostrar la probabilidad de la palabra que es justamente audible en vez de justamente inteligible.

Room acoustics and spatial effects on speech privacy

Acústica de la sala y efectos espaciales en la privacidad de la palabra

The procedure for assessing the expected speech security of enclosed offices and meeting rooms was evaluated using transmission of recorded speech sound between two rooms with separating walls having known sound transmission characteristics. Subjects stood 0.25 m from the test wall to listen to the same Harvard sentences [14] used in the original tests [29]. The test conditions were a little less well controlled than the original speech tests, but the set up more accurately represented the transmission of speech from one room to another.

El procedimiento para establecer la seguridad en la palabra esperada de las oficinas cerradas y las salas de reuniones se evaluó utilizando la transmisión de los sonidos de palabras grabadas entre dos salas con paredes de separación con características de transmisión sonora conocidas. Los sujetos se situaban a una distancia de 0.25 m desde la pared de ensayo para escuchar las mismas frases de Harvard [14] que las utilizadas en los ensayos originales [29]. Las condiciones de ensayo estaban un poco menos controladas que los ensayos de palabra anteriores, pero la disposición del ensayo representaba más precisamente la transmisión de la palabra desde un recinto al otro.

Figure 15 compares the mean trends of this test with those of the earlier studies based on simulated conditions [29], showing the fraction of subjects just able to hear at least some speech sounds. The results are remarkably sim-

La Figura 15 compara las tendencias medias de este ensayo con las de los estudios previos basados en condiciones simuladas [29], mostrando la fracción de sujetos justamente capaces de escuchar al menos algunos sonidos de palabras. Los resulta-

ilar and the two estimates for the just noticeable threshold of audibility of transmitted speech sounds are different by only 0.7 dB.

dos son remarcablemente similares y las dos estimaciones para el umbral justamente apreciable de audibilidad de los sonidos de palabras transmitidos difieren en tan solo 0.7 dB.

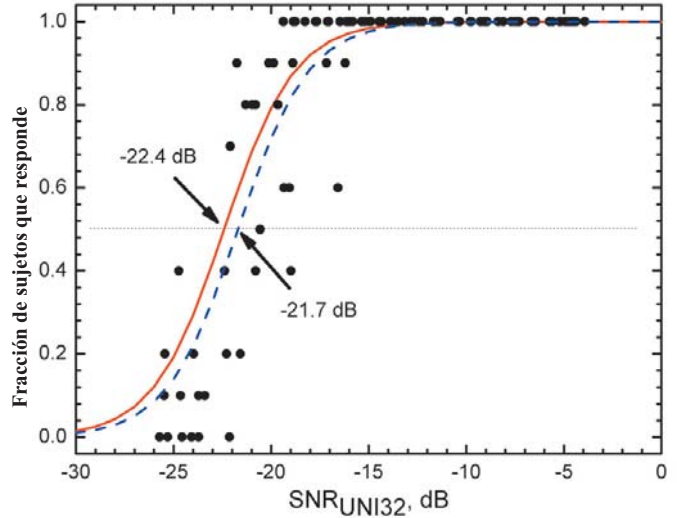
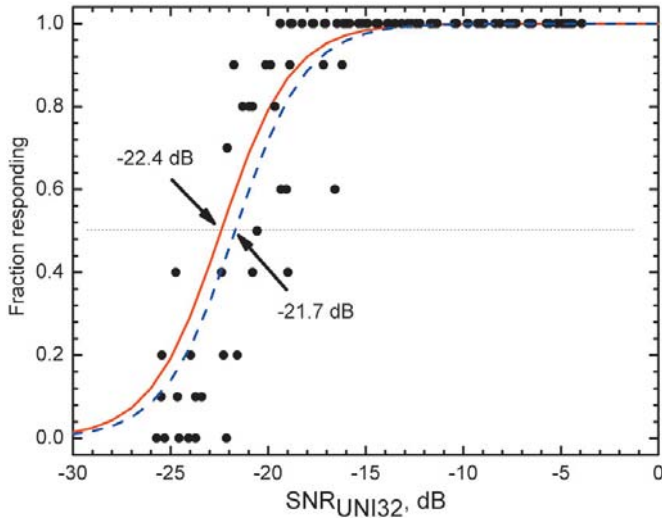


Figure 15. Comparison of the fraction of subjects just able to detect speech sounds versus SNR_{UNI32} from speech transmission between two rooms (solid line and data points) with earlier results [29] for simulated conditions (dashed line).

Figura 15. Comparación de la fracción de sujetos justamente capaces de detectar los sonidos de palabras frente al SNR_{UNI32} de la transmisión de la palabra entre dos salas (línea continua y puntos de datos) con resultados previos [29] para condiciones simuladas (línea de trazos).

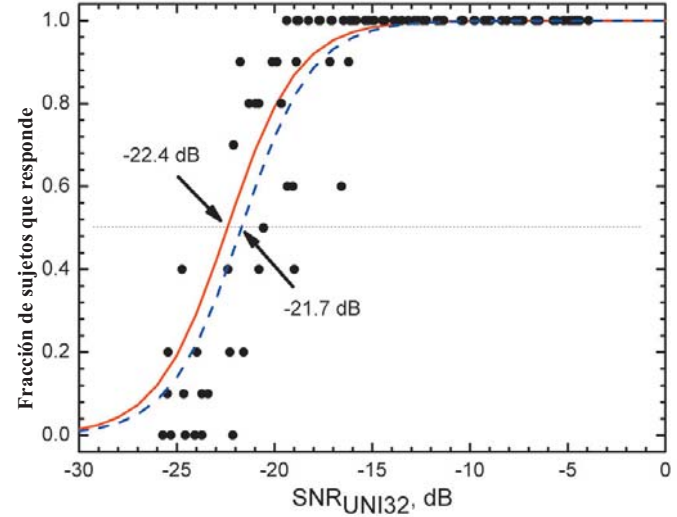
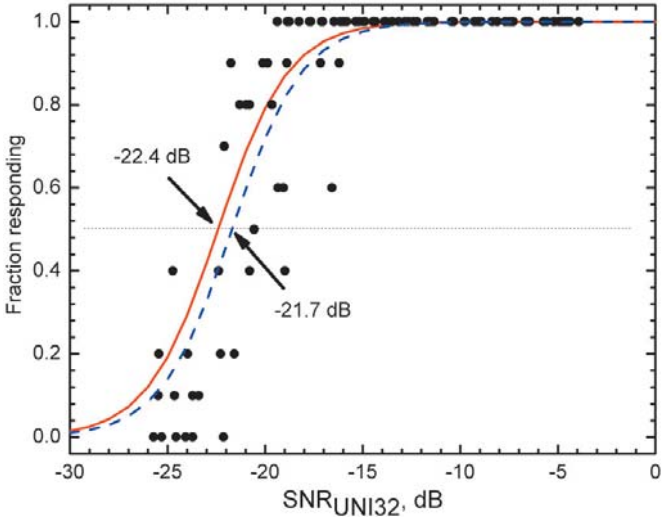


Figure 16. Comparison of the fraction of subjects just able to understand at least one word versus SNR_{UNI32} from speech transmission between two rooms (solid line and data points) with earlier results [29] for simulated conditions (dashed line).

Figura 16. Comparación de la fracción de sujetos justamente capaces de comprender al menos una palabra frente al SNR_{UNI32} de la transmisión de la palabra entre dos salas (línea continua y puntos de datos) con resultados previos [29] para condiciones simuladas (línea de trazos).

However, the comparison of mean responses for the fraction of subjects able to understand at least one word in Figure 16 indicates quite large differences between the two sets of results. While Figure 15 indicates the audibility of the transmitted speech sounds were similarly related to SNR_{UNI32} values, Figure 16 suggests, that for the same SNR_{UNI32} value, the new tests indicate transmitted

Sin embargo, la comparación de las respuestas medias para la fracción de sujetos capaces de comprender al menos una palabra en la Figura 16, indica diferencias bastante grandes entre los dos conjuntos de resultados. Mientras que la Figura 15 indica que la audibilidad de los sonidos de palabra transmitidos estaban relacionados de forma parecida a los valores del SNR_{UNI32} , la Figura 16 sugiere, que para el mismo valor de

speech is less intelligible than in the original tests and this difference results in an estimate for the threshold of intelligibility that is about 5 dB higher than the previous estimate from simulated conditions.

The differences are assumed to be due room acoustics effects such as the influence of reverberation and spatially different directions of arrival of speech and noise sounds. Very recent work has systematically investigated these effects and a few results will be presented here.

It is well known that reverberation can degrade the intelligibility of speech. However, most studies of the effects of reverberation on speech intelligibility are for conditions of relatively high signal-to-noise ratios for which speech can be quite well understood. Conditions with various combinations of reverberation and signal-to-noise were simulated [30] in an anechoic room shown in Figure 17. Figure 18 shows new results of speech intelligibility tests in conditions extending down to quite low signal-to-noise ratios. The magnitude of the effect of reverberation time on intelligibility scores is seen to be dependent on the signal-to-noise ratio. For higher signal-to-noise ratios, which might be found in a meeting room, the degradation of speech intelligibility is relatively small. However, at lower signal-to-noise ratios, the negative effect of reverberation is much larger. Thus, for speech security concerns, where lower signal-to-noise ratios are encountered, added reverberation will be more important and will have larger negative effects on the intelligibility of speech.



Figure 17. Eight-channel sound field simulation system in anechoic room.

The new results also investigated the influence of the directions of arrival of the speech and noise sounds. Published studies have shown that noise has a greater effect on intelligibility scores when the speech and noise come

SNR_{umi32} , los nuevos ensayos indican que la palabra transmitida es menos inteligible que en los ensayos originales y que esta diferencia es el resultado de una estimación para el umbral de inteligibilidad que es aproximadamente 5 dB superior a la estimación anterior en las condiciones simuladas.

Se da por sentado que las diferencias son efectos acústicos del recinto, tales como la influencia de la reverberación y las diferentes direcciones espaciales de llegada de sonidos de palabras y de ruidos. Unos estudios muy recientes han investigado sistemáticamente estos efectos y a continuación se presentan algunos de estos resultados.

Es bien sabido que la reverberación puede degradar la inteligibilidad de la palabra. Sin embargo, la mayoría de estudios de los efectos de la reverberación en la inteligibilidad de la palabra son para condiciones de relaciones señal/ruido relativamente elevadas para los que la palabra se puede comprender bastante bien. Las condiciones con varias combinaciones de reverberación y señal/ruido fueron simuladas [30] en una cámara anecoica que se muestra en la Figura 17. La Figura 18 muestra nuevos resultados de los ensayos de la inteligibilidad de la palabra en condiciones que se extienden hasta relaciones señal/ruido bastante bajas. La magnitud del efecto del tiempo de reverberación en los resultados de inteligibilidad se ve que es dependiente de la relación señal/ruido. Para relaciones señal/ruido más elevadas, que se pueden hallar en una sala de reuniones, la degradación de la inteligibilidad de la palabra es relativamente pequeña. Sin embargo, a relaciones señal/ruido más bajas, el efecto negativo de la reverberación es mucho mayor. Por ello, para temas sobre la seguridad en la palabra, donde se encuentran las relaciones señal/ruido más bajas, la reverberación añadida será más importante y tendrá efectos negativos mayores en la inteligibilidad de la palabra.



Figura 17. Sistema de simulación del campo acústico con ocho canales, en cámara anecoica.

Los nuevos resultados investigaron asimismo la influencia de la direcciones de llegada de los sonidos de las palabras y los ruidos. Estudios publicados han mostrado que el ruido tiene un efecto mayor en los resultados de inteligibilidad cuando la pala-

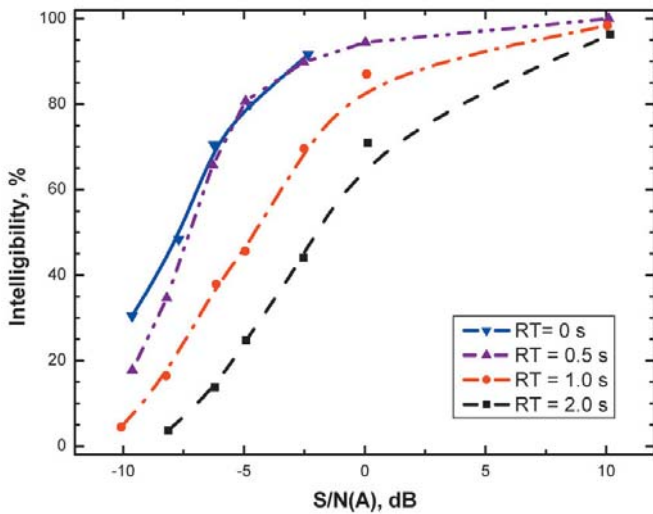


Figure 18. Speech intelligibility versus signal-to-noise ratio for 4 different reverberation times, using the Harvard sentences in simulated sound fields [30].

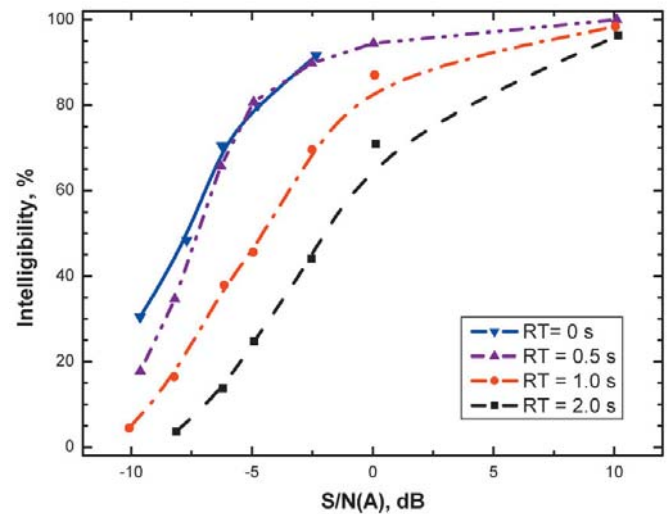


Figura 18. Intelligibilidad de la palabra frente a la relación señal/ruido para 4 tiempos de reverberación diferentes, utilizando las frases de Harvard en campos sonoros simulados [30].

from the same direction in free field conditions [31]. However, in real rooms speech and noise sounds arrive from many directions because of the many reflected paths in addition to the simple direct path. The new tests investigated how direct sounds (D), early-arriving reflections of sounds within 50 ms of the direct sound (E), and later arriving sounds (L) affected the resulting speech intelligibility scores. Figure 19 shows results illustrating the effects of direction of arrival of speech and noise for two signal-to-noise ratios. The lower graph is for a signal-to-noise ratio of -7 dB and the upper for a signal-to-noise ratio of -10 dB. In each part of the graph the solid bars indicate speech intelligibility scores when the simulated ambient noise arrived from a single loudspeaker approximately 32 degrees to the side of straight ahead. The hatched bars are the results when the simulated ambient noise arrived incoherently from all 8 loudspeaker directions.

The left hand bar in both upper and lower panels is the case where speech and noise both arrive from only straight ahead of the listener. That is, for the speech there is only a direct sound. In the second solid bar from the left there is only direct speech sound from ahead of the listener but the noise arrives from a source 32 degrees to the right of straight ahead. For both examples of this case higher speech intelligibility scores result than when speech and noise both come from straight ahead of the listener.

When early-arriving reflections are added to the speech in the third bar from the left of each plot there is no significant change to the intelligibility scores. This was because the speech level was held constant in spite

bra y el ruido provienen de la misma dirección en condiciones de campo libre [31]. Sin embargo, en salas reales, los sonidos de las palabras y el ruido llegan desde varias direcciones debido a los muchos caminos de reflexión además de la vía simple directa. Los nuevos ensayos investigaron cómo los sonidos directos (D), las reflexiones tempranas de sonidos dentro de 50 ms del sonido directo (E), y los sonidos tardíos (L) afectaban a los resultados de la inteligibilidad de la palabra resultante. La Figura 19 muestra los resultados que ilustran los efectos de la dirección de llegada de la palabra y el ruido para dos relaciones señal/ruido. El gráfico inferior es para una relación señal/ruido de -7 dB y el gráfico superior es para una relación señal/ruido de -10 dB. En cada parte del gráfico, las barras continuas indican los resultados de la inteligibilidad de la palabra cuando el ruido ambiente simulado procedía de un único altavoz aproximadamente a 32 grados de la línea de visión directa. Las barras sombreadas son los resultados cuando el ruido ambiente simulado llegaba de forma incoherente desde las 8 direcciones donde están situados los altavoces.

La barra de la izquierda en los paneles superior e inferior es el caso donde la palabra y el ruido llegan ambos desde únicamente la línea recta al oyente. Esto es, para la palabra, solo existe un sonido directo. En la segunda barra continua de la izquierda, solo existe un sonido de la palabra directo desde delante del oyente pero el ruido llega desde una fuente 32 grados a la derecha de la línea recta. Para ambos ejemplos de este caso, los resultados de la inteligibilidad de la palabra resultan superiores a cuando la palabra y el ruido provienen ambos justo de delante del oyente.

Cuando se suman las reflexiones tempranas a la palabra en la tercera barra desde la izquierda de cada grafica, no existe ningún cambio significativo en los resultados de inteligibilidad. Esto es debido a que el nivel de la palabra se mantuvo constan-

of the addition of the early reflection energy. If the speech level had been allowed to increase with the addition of the early-arriving reflection energy, the effective signal-to-noise ratio would have increased and speech intelligibility scores would have increased. Because of the precedence effect, the early reflection energy is effectively integrated with the direct speech sound and would increase speech intelligibility in spite of the fact that the reflections arrive from various directions.

Finally in the fourth bar from the left, late-arriving speech energy is added by adding a reverberant decay with a 1 s reverberation time. The added late-arriving speech energy reduces speech intelligibility scores for these cases in which the total speech level is again held constant.

When the simulated ambient noise arrives incoherently from all directions (hatched bars), it has a greater negative effect on intelligibility scores. That is, all hatched bars in Figure 19 indicate lower speech intelligibility than the corresponding solid bars. The magnitude of the effect of the change in noise characteristics, increases for conditions that have lower intelligibility scores. For example, when the signal-to-noise ratios are lower as in the upper panel, the negative effect of noise from all directions is larger than in the lower panel. Similarly, for the cases with late arriving sound (reverberation), the negative effect of going from noise arriving from one direction to noise from all directions is larger.

te no obstante la suma de la energía de la reflexión temprana. Si al nivel de palabra se le hubiese permitido incrementarse con la suma de la energía de reflexión temprana, la relación señal/ruido efectiva hubiese aumentado y los resultados de la inteligibilidad de la palabra hubiesen aumentado. Debido al efecto de precedencia, la energía de reflexión temprana está integrada de manera efectiva con el sonido de la palabra directa y aumentaría la inteligibilidad de la palabra no obstante el hecho de que las reflexiones llegan de diferentes direcciones.

Finalmente, en la cuarta barra desde la izquierda, la energía de palabra que llega tardíamente se añade sumando un decaimiento reverberante con un tiempo de reverberación de 1 s. La energía de palabra tardía añadida reduce los resultados de la inteligibilidad de la palabra para estos casos en los que el nivel de palabra total se mantiene de nuevo constante.

Cuando el ruido ambiente simulado llega de forma incoherente desde todas las direcciones (barras sombreadas), tiene un efecto negativo mayor en los resultados de inteligibilidad. Significa que todas las barras sombreadas de la Figura 19 indican una inteligibilidad de la palabra menor que las barras lisas correspondientes. La magnitud del efecto del cambio en las características del ruido, aumenta para condiciones que tienen resultados de inteligibilidad menores. Por ejemplo, cuando las relaciones señal/ruido son más bajas que en las de la parte superior de la figura, el efecto negativo del ruido que llega desde todas las direcciones es mayor que en la parte inferior. De forma similar, para los casos con sonidos que llegan tarde (reverberación), el efecto negativo del ir de un ruido procedente de una dirección a un ruido desde todas las direcciones es mayor.

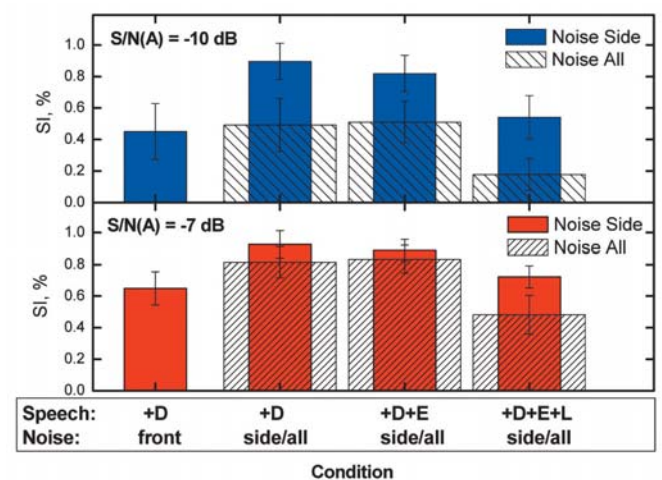
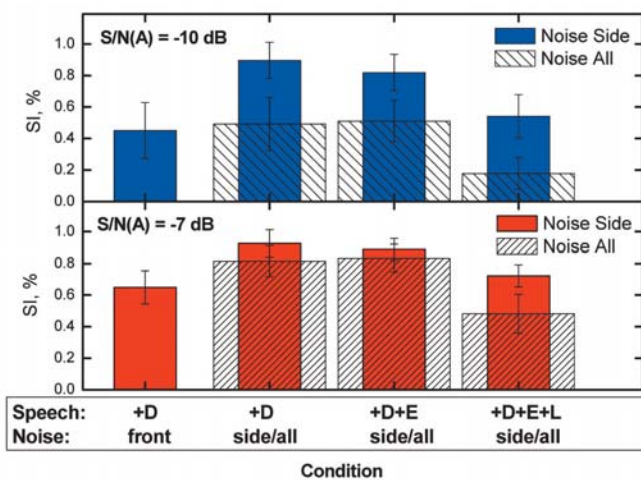


Figure 19. Mean speech intelligibility scores for various combinations of speech and noise. D = direct speech, E = early reflection speech, L = late-arriving speech. Noise from side loudspeaker, solid bars; noise from all loudspeakers hatched bars. Upper panel -10 dB signal-to-noise, lower panel -7 dB signal-to-noise.

Figura 19. Resultados promedio de la inteligibilidad de la palabra para varias combinaciones de palabras y ruidos. D= palabra directa, E= palabra de reflexión temprana, L = palabra tardía. El ruido del altavoz lateral, barras continuas; ruido de todos los altavoces, barras sombreadas. Parte superior -10 dB señal/ruido, parte inferior -7 dB señal/ruido.

These results give an initial indication of the complexity of accurately assessing speech intelligibility and speech privacy in real rooms. However, actual rooms are further complicated by spectral changes to the speech transmitted through walls and by the actual amount of diffusion of the noise sounds. If the various room acoustics effects are ignored, one cannot accurately estimate the expected speech intelligibility scores. When they are accounted for, the differences shown in Figure 16 can be quite well explained.

Conclusions

Although our knowledge of the basic concepts of speech privacy are now over 50 years old, there are still some unresolved issues. The special case of speech privacy in open-plan offices has been most thoroughly investigated and it is possible to specify achievable design goals that will help to improve the work environment for occupants of open-plan offices. For enclosed offices and meeting rooms, we can give procedures and design goals that can provide practical solutions to achieving an adequate degree of speech security. However, there are many details remaining to be explored to better understand how we can help to improve speech communication or speech privacy for all listeners in all types of listening environments. For example, more work is required to evaluate the use of measures that combine the effects of signal-to-noise ratios and room acoustics effects such as the Speech Transmission Index and Useful-to-Detrimental sound ratios. They may need to be expanded beyond their essentially monaural current forms to more completely explain conditions in room for speech.

Acknowledgements

The author would like to acknowledge the many significant contributions to this work by his colleague Dr. Bradford Gover. He would also like to acknowledge that Ms. Marina Apfel, as a student from the Fachhochschule für Technik in Stuttgart Germany, spent two work terms working on aspects of this research including the subjective evaluations of the effects of room acoustics, which formed the basis for her Diploma Thesis.

Estos resultados aportan una indicación inicial de la complejidad de establecer de manera precisa la inteligibilidad de la palabra y la privacidad de la palabra en recintos reales. Sin embargo, los recintos reales son además complicados por los cambios espectrales a la palabra transmitida a través de las paredes y por la cantidad real de la difusión de los sonidos del ruido. Si se ignoran los varios efectos acústicos del recinto, no se pueden estimar de forma precisa los resultados de la inteligibilidad de la palabra esperada. Cuando se tienen en cuenta, las diferencias que se muestran en la Figura 16 se pueden explicar bastante bien.

Conclusiones

A pesar de que nuestro conocimiento sobre los conceptos básicos de la privacidad de la palabra tiene actualmente más de 50 años, existen todavía algunas cuestiones sin resolver. El caso concreto de la privacidad de la palabra en las oficinas paisajísticas se ha estudiado más detenidamente y es posible especificar los objetivos de diseño que se pueden alcanzar y que ayudarán a mejorar el entorno de trabajo de los ocupantes de las oficinas paisajísticas. En el caso de las oficinas cerradas y las salas de reuniones, podemos indicar procedimientos y objetivos de diseño que pueden aportar soluciones prácticas para alcanzar un grado adecuado de seguridad de la palabra. Sin embargo, hay muchos detalles que quedan por explorar para comprender mejor cómo podemos ayudar a mejorar la comunicación de la palabra o la privacidad de la palabra para todos los oyentes en todos los tipos de entornos de audición. Por ejemplo, se requiere más trabajo para evaluar el uso de medidas que combinen los efectos de las relaciones señal/ruido y los efectos de la acústica del recinto como el Índice de Transmisión de la Palabra y las relaciones sonoras Útil/Nocivo. Puede que se tengan que expandir más allá de sus formas esencialmente monoaurales actuales para explicar con más detalle las condiciones en un recinto adecuado para la palabra.

Agradecimientos

El autor desearía agradecer las muy significativas contribuciones a este trabajo por parte de su colega el Dr. Bradford Gover. También le gustaría agradecer que la Srta. Marina Apfel, en calidad de estudiante de la Fachhochschule für Technik en Stuttgart Alemania, estuviese durante dos cursos trabajando en los aspectos de esta investigación, incluyendo las evaluaciones subjetivas de los efectos de la acústica del recinto, que forman la base para su Tesis de Diploma.

References - Referencias

- [1] Cavanaugh, W.J., Farrell, W.R., Hirtle, P.W., and Waters, B.G., "Speech Privacy in Buildings", *J. Acoust. Soc. Am.* 34 (4), 475-492 (1962).
- [2] ANSI S3.5-1969, "American National Standard Methods for the Calculation of the Articulation Index", Standards Secretariat, Acoustical Society of America, New York, USA.
- [3] French, N.R., and Steinberg, J.C., "Factors Governing the Intelligibility of Speech Sounds", *J. Acoust. Soc. Am.* 19(1) 90-119 (1947).
- [4] Pirm, R., "Acoustical Variables in Open-planning", *J. Acoust. Soc., Am.* 49, (5) pp. 1339-1345 (1971).
- [5] Warnock, A. C. C., Henning, D. N., & Northwood, T. D. (1972, November). "Acoustical Survey of an Open-Plan Landscaped Office", (DBR Internal Report No. 400). Ottawa, ON: National Research Council of Canada, Division of Building Research.
- [6] Warnock, A.C.C., "Acoustical Privacy in the Landscaped Office", *J. Acoust. Soc. Am.*, 53, 1535-1543 (1973).
- [7] "Acoustical Environment in the Open-Plan Office", ASTM task Group E33.04C (1976).
- [8] Moreland, J.B., "Speech Privacy Evaluations in Open-Plan Offices Using the Articulation Index", *Noise Control Eng. J.*, 33(1) 23-32 (1989).
- [9] ASTM E1130-02, "Standard Test Method for Measurement of Speech Privacy in Open Offices Using the Articulation Index," American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, U.S.A.
- [10] ANSI S3.5-1997, "Methods for Calculation of the Speech Intelligibility Index", American National Standard, Standards Secretariat, Acoustical Society of America, New York, USA.
- [11] Bradley, J.S., "The Acoustical Design of Conventional Open Plan Offices", *Canadian Acoustics*, 27(3) 23-30 (2003).
- [12] Bradley, J.S., "A Renewed Look at Open Office Acoustical Design", Paper N1034, Proceedings Inter Noise 2003, Seogwipo, Korea, August 25-28, 2003.
- [13] Bradley, J.S. and Gover, B.N., "Describing Levels of Speech Privacy in Open-Plan Offices", Institute for Research in Construction, National Research Council, Ottawa, report, IRC-RR-138, (2003).
- [14] Anon, "IEEE Recommended Practice for Speech Quality Measurements", *IEEE Trans. On Audio and Electroacoust.*, pp. 227-246 (1969).
- [15] Veitch, J.A., Bradley, J.S., Legault, L.M., Norcross, S.G. and Svec, J.M., "Masking Speech in Open-Plan Offices with Simulated Ventilation Noise: Noise Level and Spectral Composition Effects on Acoustic Satisfaction", NRC-IRC report, IR-846, 2002.
- [16] Bradley, J.S. and Wang, C., "Measurements of Sound Propagation between Mock-Up Workstations", April 2000, IRC RR-145.
- [17] Wang, C. and Bradley J.S., "A Mathematical Model for a Single Screen Barrier in Open-plan Offices", *App. Acoust.*, 63(8), 849-866 (2002).
- [18] Wang, C. and Bradley, J.S., "Prediction of the Speech Intelligibility Index Behind a Single Screen in an Open-plan Office", *App. Acoust.*, 63(8), 867-883 (2002).
- [19] Wang, C. and Bradley J.S., "Sound Propagation between Two Adjacent Rectangular Workstations in an Open-plan Office, I: Mathematical Modeling", *App. Acoust.* 63(12), pp. 1335-1352 (2002).
- [20] Wang, C. and Bradley J.S., "Sound Propagation between Two Adjacent Rectangular Workstations in an Open-plan Office, II: Effects of Office Variables", *App. Acoust.* 63 (12), 1353-1374 (2002).
- [21] COPE-Calc software is available at http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/ie/cope/07_e.html
- [22] Sound absorption average, SAA, is defined in ASTM C423-99a, "Standard Test Method for Sound Absorption and Sound Absorption Coefficients by the Reverberation Room Method", American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, U.S.A.
- [23] Warnock, A.C.C. and Chu, W., "Voice and Background Noise Levels Measured in Open Offices", IRC Report IR-837, (2002).
- [24] Olsen, W.O., "Average Speech Levels and Spectra in Various Speaking/Listening Conditions: A Summary of the Pearsons, Bennett, and Fidell (1977) Report", *J. Audiology*, 7, 1-5 (1998).
- [25] ASTM E336-97, "Standard Test Method for Measurement of Airborne Sound Insulation in Buildings," American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, U.S.A.

- [26] ISO 140/III, “Laboratory Measurement of Airborne Sound Insulation of Building Elements – Part IV: Field Measurements of Airborne Sound Insulation Between Rooms”, 1998-08-15.
- [27] JIS A 1520, “Method for Field Measurements of Sound Insulation of Windows and Doors”, Japanese Industrial Standard, Japanese Standards Association
- [28] Pierce, A.D., “Acoustics: An Introduction to its Physical Principles and Applications”, McGraw Hill, New York (1981).

- [29] Gover, B.N., and Bradley, J.S., “Measures for assessing architectural speech security (privacy) of closed offices and meeting rooms”, J. Acoust. Soc. Am., 116, (6), 3480-3490 (2004).
- [30] party problem”, Acoust. Sc. & Tech. 24 (5) 208-219 (2003).