48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON UNDERWATER ACOUSTICS APPLICATIONS
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE BUILDING ACOUSTICS

ESTUDIO DE LA PRIVACIDAD ACÚSTICA EN RECINTOS A PARTIR DE SEÑALES MLS

PACS: 43.50.Ba

Yebra Calleja, Marisol; Vera Guarinos, Jenaro
D.F.I.S.T.S. - Universidad de Alicante – España
Carretera se San Vicente-Alicante. s/n
657 66 08 21
m.yebra.calleja@gmail.com; jenaro@ua.es

Key Words: acoustic privacy, common intelligibility scale, CIS, articulation index, AI, SNR_{uni32}, CIS, speech privacy class, SPC, MLS.

Palabras Clave: privacidad acústica, escala de inteligibilidad natural, CIS, índice de articulación, AI, SNRuni32, CIS, grado de privacidad del habla, SPC, MLS.

ABSTRACT.
A study has been carried out on the level of privacy in different venues. For its determination we have used MLS signals. Our proposal focuses on the determination of intelligibility (Common Intelligibility Scale) trough the Speech Transmission Index calculated from the MLS signal received through the enclosures as a valuation index of privacy. Based on the existing background noises and the insulation presented by the different building systems AI was calculated for a series of standard vocal efforts. The values of the SNR32 index have been checked. The results are comparable to those presented in the literature consulted. It is noted that relatively simple "in situ" measures can objectively assess privacy.

RESUMEN.
Se ha realizado un estudio sobre el nivel de privacidad en distintos recintos. Para su determinación hemos usado señales MLS. Nuestra propuesta se centra en la determinación de la inteligibilidad (Common Intelligibility Scale) a partir del Speech Transmission Index calculado a partir de la señal MLS recibida a través de los cerramientos como índice de valoración de la privacidad. En función de los ruidos de fondo existentes y el aislamiento que presentaban los distintos sistemas constructivos se ha calculado el AI para una serie de esfuerzos vocales estándar. Se han contrastado los valores del índice SNR32. Los resultados son equiparables a los presentados en la literatura consultada. Se constata que medidas “in situ”, relativamente sencillas, pueden de forma objetiva valorar la privacidad.

1. INTRODUCCIÓN

La privacidad es un aspecto importante a tener en cuenta a la hora de diseñar despachos u otros recintos como las aulas docentes por ejemplo. Sería lógico pensar que el hablante no quiere ser escuchado y el oyente ocasional (al otro lado de la pared) no tiene interés en escucharle pues interfiere en su propia actividad o discurso, distrayéndole o produciendo molestia. Además en determinados trabajos donde se maneja información confidencial (abogados, médicos, banca, policía, etc.), su importancia es vital porque si los despachos no se

pueden considerar acústicamente privados, tampoco se podrá considerar la información como confidencial.

La privacidad acústica para la palabra la podríamos definir de forma simple como el hecho de no entender conversaciones ajenas que se producen en otro recinto.

Con esta idea no estamos imponiendo que no se oigan o se escuchen [12] [19], según lo que se pretenda serán distintas las exigencias que se deben de imponer a los agentes implicados en el problema. Para evaluarla se usan medidas de inteligibilidad, pues la privacidad viene a ser la falta de ésta. Se podría decir o expresar con la idea encerrada en la siguiente expresión.

$$\mathbf{P}_{\text{rivacidad}} = \mathbf{1} - \mathbf{I}_{\text{nteligibilidad}} \qquad \text{ecuación} - 1.$$

Pero la dificultad estriba en cuál de todos los índices de inteligibilidad es el que mejor se adecúa [22] a la función que queremos determinar [18] [4] [7] [20] [21]. Nosotros, en este trabajo vamos a seguir las ideas de Bradley y su entorno, adaptando el procedimiento a nuestra premisa original que es la determinación o evaluación de la privacidad a partir del registro de la señal MLS emitida y transmitida.

2. OBJETIVOS

Extraer información de la señal MLS para determinar todos los parámetros acústicos que son necesarios conjugar en el método propuesto por Bradley [8] y así evaluar de forma objetiva “in situ” el nivel de privacidad entre recintos: SPC, SNR_{uni32}.

3. METODOLOGÍA

Para determinar la privacidad entre dos despachos contiguos, consideramos una situación normal de comunicación: en uno de ellos, se encuentran dos personas hablando y al otro lado de la pared se encuentra otra persona a la que no va dirigido el mensaje pero que por diversas circunstancias puede convertirse en un oyente no deseado. Los factores a tener en cuenta son: Nivel de conversación emisor, aislamiento, ruido de fondo comunitario y de equipos.

La figura 1 muestra de forma elemental una situación de correcta privacidad: el nivel del habla resultante al atravesar la pared queda por debajo del ruido de fondo propio por lo que podemos aventurar en primera instancia que dicho ruido de fondo enmascarará el mensaje recibido y lo hará, al menos, ininteligible para el individuo de la izquierda.

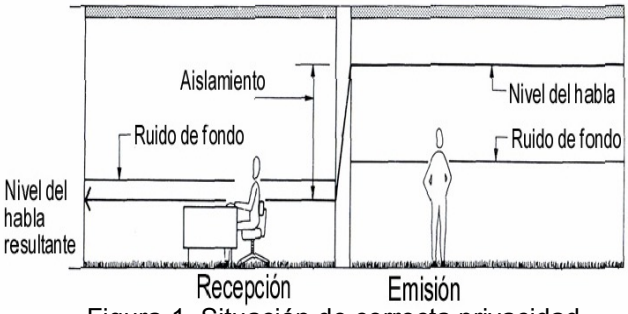

Figura-1. Situación de correcta privacidad.

El procedimiento de medida seguido fue el siguiente (se ilustra en la figura 2). En la sala emisora se situó la fuente en la zona donde suele estar habitualmente el individuo emisor. En la sala receptora se tomaron tres puntos de micrófono, dos de ellos junto al escritorio, uno por cada lado y el otro más cercano a la puerta que da al pasillo, posteriormente se promedian para obtener un único resultado.

Para poder valorar la influencia del nivel sonoro del habla usada por el emisor se emplearon tres niveles de emisión (relajado-normal, elevado-alto y muy alto) para la señal MLS. Aproximadamente: el nivel "relajado-normal" equivale a < 60 dB, el "elevado-alto" equivale a 60-75 dB y el "alto" a > 75 dB a un metro de distancia.

Figura-2. Esquema de medida.

Para cada par de espacios analizados, se emite la señal MLS que se registra simultáneamente tanto en la sala que cumplía el papel de emisora como en el recinto receptor. Con ello se puede determinar el aislamiento acústico a ruido aéreo de la pared separadora, [1] [10] [13] [14] [15] [17].

Por otra parte se mide el ruido de fondo en la sala receptora en momentos del día tranquilos en los cuales no había demasiada actividad ya que se buscan las condiciones más desfavorables para la problemática estudiada.

A partir de los registros de las respuestas impulsivas MLS se calcula además el tiempo de reverberación y el STI de la sala receptora.

En el camino que sigue la señal, o voz, de un despacho a otro, además del ruido de fondo hay otro obstáculo para que pueda ser inteligible el mensaje, y este es el aislamiento del sistema constructivo que comprende a los dos recintos. Para poder introducir en los cálculos dicha contribución, hay que calcular su aislamiento acústico y restarlo junto con el ruido de fondo a la señal de voz. Por lo que se determina el aislamiento bruto "D" del sistema constructivo a partir del nivel que se obtiene de la respuesta impulsiva MLS emitida y recibida sin hacer correcciones de ruido de fondo ni de tiempo de reverberación, pues se pretende conocer el valor que sea responsabilidad única de lo constructivo. Por otra parte conocemos el espectro normalizado para un emisor con distintos esfuerzos vocales (relajado, normal, alto, muy alto y elevado) [16]. Se dispone además de las medidas del ruido de fondo comunitario en la habitación receptora. Con todos estos datos ya podemos calcular el valor de SNR_{uni32} [8] y el IA [2].

Como se dispone de la respuesta impulsiva MLS transmitida al receptor se calcula su inteligibilidad mediante el índice STI, para cada uno de los niveles de emisión que hemos mencionado. Y a partir de estos resultados estimamos la inteligibilidad refiriéndonos siempre a la escala de inteligibilidad natural (CIS) [5] [6]. Esta valoración de la inteligibilidad es la que consideraremos como representativa de cuánto somos capaces de entender del discurso en el recinto vecino y que usaremos para evaluar el grado de privacidad conseguido.

4. RESULTADOS

En total fueron analizados once recintos, de los cuales ocho eran pares de despachos contiguos y los tres restantes corresponden a otras tantas parejas de aulas en distintos centros de la Universidad de Alicante.

En la tabla 1, mostramos el aislamiento "D" que se obtiene de los recintos estudiados. En la última fila mostramos el valor del aislamiento promedio entre los tercios de octava de 160 Hz a 5000 Hz y que denominaremos $D_{(prom)}$, que por una parte nos ayudará a clasificarlos mediante una única cifra significativa y más tarde usaremos ese valor en la expresión que sirve para clasificar la privacidad propuesta por Bradley [9].

Los espectros resultantes para su curva de aislamiento "D" y los valores promedio de 160 Hz a 5000 Hz "D_{prom}" se muestran a continuación en formato tabulado por economía de espacio.

Recinto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tipo	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho
1/3 Hz	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB	D (ISO) dB
100	24	29,4	16,9	22,7	19,6	24,6	5,1	18,2	16	22	16
125	23,5	32,4	23,5	31	21,4	26,9	20,2	23,2	18,9	20,9	20,6
160	25,9	34	28,7	23,4	21,9	28,1	20,9	23,1	21,3	34,4	21,6
200	29,6	32	31,1	25,6	31,8	28,9	26,6	23	30,8	33,1	29,3
250	33,7	31	28,2	30,5	32,8	27,1	27,3	25,7	33,5	27,5	28,2
315	29,7	30,9	29,8	30,7	34,4	31,9	29,7	25,3	34,7	31,8	31,2
400	31,7	31,6	28,8	31,5	36,6	29,7	29,1	21,8	32,1	34,8	31
500	36	26,5	28,7	34,1	36,2	34,4	33,3	27,2	34	32,1	32,8
630	39,9	29,3	36,7	33,9	37,3	36,2	35,5	27,3	35,4	32,4	34,8
800	43	30	36,2	36,2	41,5	38,2	35,7	30,1	38,4	32,5	38,4
1 k	41,9	31,5	38,8	37,1	43	40,4	40	30,8	36,4	31,2	39,7
1.25 k	45,9	37,4	39	39,1	41,9	46,2	39,2	37,9	35,1	35,1	40,5
1.6 k	46,8	38,4	40,4	42,1	41,5	46,7	40,1	37,9	35,8	30	40,4
2 k	44,7	37,2	37,7	43	41,8	49,8	39,9	39,5	37,7	34,2	43,4
2.5 k	47,3	37	39,5	40,8	37,1	48,5	38,1	38,7	36,4	36,7	43,4
3.15 k	49,6	42,3	42,2	42,1	38	50,8	38,8	41,4	36,6	33,4	44,7
4 k	52,5	45,1	44,4	45,4	41,5	51,3	41,2	44,8	38	34	46,4
5 k	52,5	45,1	48,6	47,7	43,8	53,5	43,1	49,5	40,6	33,5	47,3
$D_{(prom)}$dB	**41**	**35**	**36**	**36**	**38**	**40**	**35**	**33**	**35**	**33**	**37**

Tabla -1. Aislamiento bruto de los recintos. Valores para 1/3 Hz y promedio en dB.

Calcularemos el valor promedio del ruido de fondo entre 160 Hz a 5000 Hz, tabla 2. Mostraremos también el resultado del criterio de ruido "NC".

Recinto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tipo	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho
1/3 Hz	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB	L_{fondo} dB
100	50,3	29,2	34,2	35,9	31,2	27,6	40,5	38,4	33,1	35,3	41,5
125	43,9	21,7	30,1	32,9	25,6	22,6	36,2	36,1	34,9	29,8	45,6
160	46,6	21,3	32,8	31,7	23	28	35,3	40,3	35,9	33,3	42,4
200	41	25,5	30	25,6	27,2	25,2	37,6	40,8	41,1	34	41,6
250	38,3	22,9	28,2	25,6	22,5	25,4	37,3	39,9	40,1	33,4	43,3
315	38,9	23,4	27,2	25,2	21,4	22,9	39,2	35,8	43,5	31,1	48,4
400	38,2	23,1	28,2	24,7	16,4	21,8	39,6	37,2	37,8	28,3	43,2
500	35,5	20,8	27,8	25,6	15,6	19,8	37,1	37,5	39,1	29,9	44,1
630	34,3	19,6	26	27,4	15,3	20,1	35,3	38	39,8	29	42,8
800	33,2	19,4	26,5	25,1	17,6	22,4	34,6	36	36,7	26,6	41,9
1 k	33	19,4	25,2	22,7	16,8	21,7	31,4	35,1	35,9	26,3	41
1.25 k	32,1	17,4	23	25,1	14,9	22,3	30,1	39,4	37,2	23,4	39,9
1.6 k	31,5	16,6	21,4	25	13,6	20,9	29,9	30,3	35,4	22,1	41,3
2 k	30,9	15,9	20,4	20,7	11,1	20,3	29,7	29	34,3	20,2	42,1
2.5 k	30,7	15,2	19,2	21,3	10,2	14,4	29,8	27,4	32,3	19,7	41,2
3.15 k	30,4	14,8	16,8	20,3	9,1	17,7	30,9	24,1	30,9	17,4	38,5
4 k	30,3	14,7	13,6	16,8	9,1	16,5	30,9	21,5	27,7	13	32,2
5 k	30,8	13,5	10,4	15	7,3	16,8	31,3	19,6	24,4	10,4	31,9
$Lfondo_{(prom)}$dB	**35**	**19**	**24**	**24**	**16**	**21**	**34**	**33**	**36**	**25**	**41**
NC dB	**45**	**25**	**30**	**30**	**20**	**25**	**45**	**45**	**45**	**30**	**50**

Tabla-2. Ruido de fondo promedio en dB y criterio de ruido (NC).

Podemos comprobar que según los valores aconsejados (NC40 y NC45) para este tipo de recintos; en principio todos los recintos están dentro de los parámetros esperados menos el despacho del recinto-11.

Mostramos a continuación, tabla 3, los valores obtenidos para el índice de transmisión de la palabra "STI" que hemos calculado a partir de la respuesta impulsiva MLS transmitida en la habitación receptora.

Recinto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tipo	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho
STI-70dB	0,12	0,37	0,21	0,19	0,32	0,06	0,14	0,14	0,09	0,19	0,06
Stdv	0,05	0,07	0,04	0,05	0,11	0,01	0,07	0,03	0,02	0,06	0,01
STI-80dB	0,26	0,49	0,48	0,32	0,45	0,16	0,40	0,38	0,27	0,26	0,10
Stdv	0,15	0,10	0,07	0,04	0,03	0,01	0,07	0,02	0,03	0,09	0,02
STI-90dB	0,30	0,59	0,48	0,45	0,52	0,41	0,49	0,55	0,44	0,38	0,21
Stdv	0,10	0,06	0,09	0,01	0,02	0,02	0,07	0,01	0,02	0,05	0,07

Tabla-3. Valores experimentales de STI para varios niveles de emisión de MLS

Aunque los resultados presentan una variabilidad notable (véanse los valores para las desviaciones estándar sobre tres registros para cada nivel de emisión) lo interesante es que, como cabía esperar, el índice STI aumenta apreciablemente al elevar el nivel de emisión.

En lo que sigue vamos a traducir los valores del STI a sus correspondientes en la escala de inteligibilidad natural (Common Intelligibility Scale) "CIS" que propuso Barnett [5] [6] mediante la siguiente relación matemática y teniendo en consideración la horquilla de valores que sugiere la desviación estándar:

$$CIS = 1 + \log(STI) \qquad \text{ecuación – 2.}$$

Recinto	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tipo	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho	Despacho	Aula	Despacho	Despacho
CIS-70dB(-)	0,00	0,48	0,24	0,16	0,31	0,00	0,00	0,04	0,00	0,10	0,00
CIS-70dB	0,08	0,57	0,32	0,29	0,51	0,00	0,16	0,13	0,00	0,28	0,00
CIS-70dB(+)	0,23	0,64	0,39	0,39	0,64	0,00	0,32	0,21	0,03	0,40	0,00
CIS-80dB(-)	0,05	0,59	0,61	0,44	0,62	0,17	0,53	0,56	0,37	0,24	0,00
CIS-80dB	0,41	0,69	0,68	0,50	0,66	0,20	0,61	0,58	0,43	0,41	0,00
CIS-80dB(+)	0,61	0,78	0,74	0,56	0,68	0,23	0,67	0,60	0,47	0,54	0,05
CIS-90dB(-)	0,31	0,73	0,59	0,64	0,71	0,59	0,62	0,74	0,62	0,51	0,16
CIS-90dB	0,48	0,77	0,68	0,66	0,72	0,61	0,69	0,74	0,64	0,57	0,33
CIS-90dB(+)	0,60	0,82	0,75	0,67	0,73	0,63	0,75	0,75	0,66	0,63	0,45

Tabla-4. Valores y desviación estándar de inteligibilidad natural obtenidos a partir del STI

Para el cálculo del índice de articulación tendremos en cuenta los esfuerzos vocales indicados, como ya hemos indicado, en sus cinco estados normalizados [16]. A esos valores les restaremos el valor de la curva de aislamiento bruto para calcular así los niveles que entran en la habitación y calcularemos la relación señal ruido respecto al ruido de fondo que hemos determinado "in situ" y aplicando los pesos que ponderan el resultado de cada una de las bandas de tercios de octava entre 200 Hz y 5000 Hz [2] [3] y limitando los resultados a un valor de 30 dB como máximo y a 0 dB como mínimo obtenemos el índice de articulación "AI" para la palabra en cada habitación receptora y para cada nivel de esfuerzo vocal.

Se realiza una operación similar para el cálculo del SNR_{uni32}, la diferencia principal es que en el cálculo de este índice no se usan pesos de ponderación por frecuencia y que se realiza el promediado aritmético, con un límite de -32 dB para el máximo de cada diferencia, de la relación señal ruido (Nivel recibido - Ruido de fondo) para las 16 bandas de tercios de octava desde 160 Hz a 5000 Hz.

Los resultados obtenidos para estos dos indicadores (AI y SNR_{uni32}) junto con el CIS calculado, figuras 3 y 4, nos van a servir para comprobar si muestran un comportamiento análogo a lo

propuesto en los trabajos ya citados de Bradley. Ya que dichos trabajos están basados en medidas subjetivas, estadísticamente consistentes, realizadas usando grupos de personas como oyentes. Mientras que nuestro trabajo se basa tan solo en resultados objetivos a la respuesta acústica del recinto a una excitación MLS y aproximaciones a la realidad mediante suposiciones de comportamiento con ayuda de expresiones teóricas o aplicaciones normativas tal como se ha podido ver en los anteriores apartados.

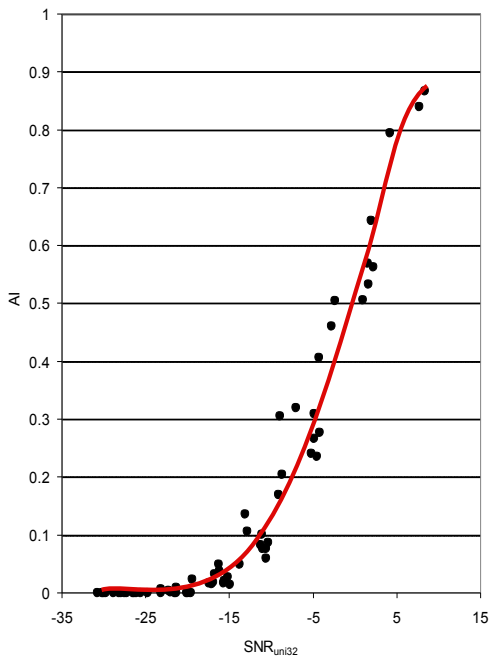

Figura-3. AI 'vs' SNR_{uni32}

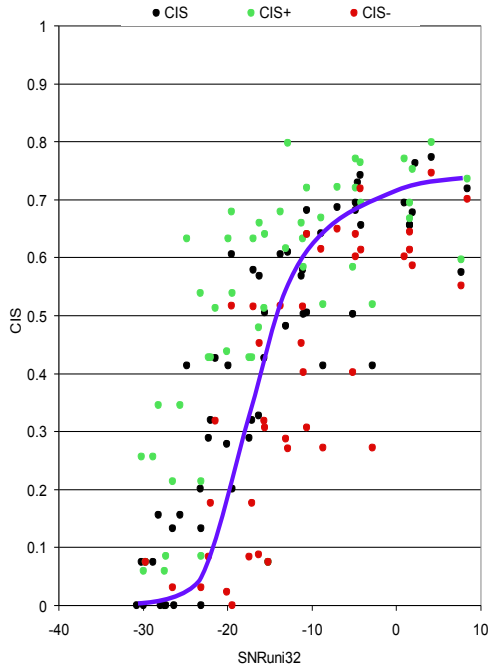

Figura-4. CIS 'vs' SNR_{uni32}

Se puede comprobar que el índice de articulación AI que fue uno de los pioneros para la evaluación de la privacidad [11] es insuficiente pues deja de ser fiable por debajo de AI=0.05 (a partir de ese valor decrece asintóticamente a 0 de forma muy rápida como se demuestra saturándose en ese valor, ver figura 3. Por lo que aunque en ciertas situaciones se obtenga el valor de AI=0 no significa que se tenga privacidad absoluta. Sin embargo haciendo uso del índice SNR_{uni32} esta problemática desaparece, llegando a discernir aquellas situaciones donde el AI no es capaz, obteniendo una evaluación más robusta sobre las condiciones de privacidad, ver tabla 5.

Umbral	SNRuni32
INTELIGIBILIDAD	-16 dB
CADENCIA	-20 dB
AUDIBILIDAD	-22 dB

Tabla-5. Pivacidad 'vs' SNR_{uni32}

Una vez que hemos comprobado que el método desarrollado a partir de excitación MLS llega a las mismas conclusiones que la propuesta de Bradley, entonces podemos extraer consecuencias similares sobre la condiciones de privacidad y el cálculo del grado de privacidad del habla "SPC" (Speech Privacy Class) bajo el supuesto de esfuerzo vocal normal y para el umbral de privacidad (SNR_{uni32} = -11dB a -16dB) mediante la siguiente expresión:

$$SPC = D_{promedio} + Lfondo_{promedio} \qquad \text{ecuación – 3.}$$

Categoría	*SPC* dB	Descripción
	<60	Se puede esperar que se entienda lo que se escucha usualmente (más de una vez por minuto) y casi siempre audible.
Privacidad Normal	60 - 65	Las frases breves puede que sean ocasionalmente inteligibles (como máximo una vez cada minuto); El habla suele ser audible.
Privacidad Buena	65 - 70	Las frases breves son raramente inteligibles (como máximo una vez cada 3,5 minutos); El habla es audible casi siempre.
Seguridad Normal	70 - 75	Se espera que el discurso sea esencialmente ininteligible (frases breves inteligibles a lo sumo una vez cada 15 minutos); Las palabras se escucharan de vez en cuando (como máximo una vez cada minuto).
Seguridad Buena	75 - 80	El habla se espera que sea ininteligible (frases breves inteligibles, como máximo una vez cada hora); Las palabras son raramente audibles (como máximo una vez cada 3,5 minutos).
Seguridad Alta	80 - 85	Lenguaje ininteligible (frases breves inteligibles como máximo una vez cada 4,5 horas); El habla suena esencialmente inaudible (audible a lo sumo una vez cada 15 minutos).
Seguridad Máxima	>85	Discurso ininteligible (frases breves pueden ser inteligibles como máximo una vez cada 20 horas); El habla suena inaudible (audible a lo sumo una vez cada hora).

Tabla-6. Categorías para valorar el grado de privacidad para el habla 'SPC'

Con lo que podemos decir, haciendo uso de los resultados que se muestran en las tablas 1 y 2, que los recintos estudiados obtienen la siguiente clasificación para el "grado de privacidad".

Recinto	Tipo	$D_{(prom)}$dB	$Lfondo_{(prom)}$dB	**SPC** dB	*CLASIFICACIÖN*
1	Despacho	**40,7**	**34,7**	75,4	SEGURIDAD BUENA
2	Aula	**35,0**	**19,0**	53,9	NO PRIVACIDAD
3	Despacho	**36,2**	**23,5**	59,7	NO PRIVACIDAD
4	Despacho	**36,5**	**23,6**	60,1	PRIVACIDAD NORMAL
5	Aula	**37,6**	**15,7**	53,3	NO PRIVACIDAD
6	Despacho	**40,1**	**21,0**	61,1	NO PRIVACIDAD
7	Despacho	**34,9**	**33,8**	68,7	PRIVACIDAD BUENA
8	Despacho	**32,8**	**33,2**	66,0	PRIVACIDAD BUENA
9	Aula	**34,8**	**35,8**	70,6	SEGURIDAD NORMAL
10	Despacho	**32,9**	**24,9**	57,8	NO PRIVACIDAD
11	Despacho	**37,1**	**41,0**	78,1	SEGURIDAD BUENA

Tabla-7. Valoración del la privacidad de los recintos estudiados para esfuerzo vocal 'normal'

Debemos recalcar que para los resultados que mostramos en la tabla 7, el esfuerzo vocal que hemos presupuesto es 'normal'. Por lo que si el esfuerzo vocal usado es superior al normal en estos recintos, y quisiéramos conocer el grado de privacidad 'SPC' entonces se debería adicionar un término corrector de ajuste al esfuerzo vocal desarrollado en cada caso. Nosotros proponemos tal ajuste con la introducción de un termino corrector 'C_{EV}' (corrección para esfuerzo vocal) de -6dB para cada nivel de esfuerzo superior. Los resultados que se obtienen para esta propuesta los podemos observar en la tabla 8.

Así si en el recinto en el que se desarrolla la conversación que se quiere proteger se usa un esfuerzo vocal superior al normal (lo que puede ser posible por muchas razones) podremos saber su calificación SPC (que ahora denominaremos SPC(*))

Con esta propuesta vemos que es fácil extrapolar esta expresión, ecuación 3, para mayor grado de protección y hasta para distinto tipos de esfuerzo vocal implicado.

Esfuerzo Vocal		Relajado-C_{EV}=+6dB		Elevado-C_{EV}=-6dB		Alto-C_{EV}=-12dB		Muy Alto-C_{EV}=-18dB	
Recinto	Tipo	**SPC(R)** dB	*CLASIFICACIÓN*	**SPC(E)** dB	*CLASIFICACIÓN*	**SPC(A)** dB	*CLASIFICACIÓN*	**SPC(MA)** dB	*CLASIFICACIÓN*
1	Despacho	81,4	SEGURIDAD ALTA	69,4	PRIVACIDAD BUENA	63,4	PRIVACIDAD NORMAL	57,4	NO PRIVACIDAD
2	Aula	59,9	NO PRIVACIDAD	47,9	NO PRIVACIDAD	41,9	NO PRIVACIDAD	35,9	NO PRIVACIDAD
3	Despacho	65,7	PRIVACIDAD BUENA	53,7	NO PRIVACIDAD	47,7	NO PRIVACIDAD	41,7	NO PRIVACIDAD
4	Despacho	66,1	PRIVACIDAD BUENA	54,1	NO PRIVACIDAD	48,1	NO PRIVACIDAD	42,1	NO PRIVACIDAD
5	Aula	59,3	NO PRIVACIDAD	47,3	NO PRIVACIDAD	41,3	NO PRIVACIDAD	35,3	NO PRIVACIDAD
6	Despacho	67,1	PRIVACIDAD BUENA	55,1	NO PRIVACIDAD	49,1	NO PRIVACIDAD	43,1	NO PRIVACIDAD
7	Despacho	74,7	PRIVACIDAD BUENA	62,7	PRIVACIDAD NORMAL	56,7	NO PRIVACIDAD	50,7	NO PRIVACIDAD
8	Despacho	72,0	PRIVACIDAD BUENA	60,0	PRIVACIDAD NORMAL	54,0	NO PRIVACIDAD	48,0	NO PRIVACIDAD
9	Aula	76,6	SEGURIDAD ALTA	64,6	PRIVACIDAD NORMAL	58,6	NO PRIVACIDAD	52,6	NO PRIVACIDAD
10	Despacho	63,8	PRIVACIDAD BUENA	51,8	NO PRIVACIDAD	45,8	NO PRIVACIDAD	39,8	NO PRIVACIDAD
11	Despacho	84,1	SEGURIDAD ALTA	72,1	SEGURIDAD NORMAL	66,1	PRIVACIDAD BUENA	60,1	PRIVACIDAD NORMAL

Tabla-8. Valores de SPC(*) para los recintos estudiados para esfuerzo vocal 'no normal'

También es posible prever, una vez que tenemos definido el grado de privacidad SPC que se requiere para una cierta situación particular, por ejemplo SPC ≥ 75 dB, cuál tendría que ser el aislamiento bruto D que se le debe exigir a un sistema constructivo que separa dos recintos si deseamos que cumpla al menos con los requisitos mínimos para el tipo de confort planteado. La expresión que nos serviría para este fin es sencillamente la mostrada a continuación, ecuación 4:

$$D_{promedio} \geq 75 - Lfondo_{promedio} \qquad \text{ecuación – 4.}$$

Cómo vemos tan solo debemos conocer cuál es el ruido de fondo promedio que va a existir en dicha situación en el receptor, y en función del SPC que se quiera alcanzar así deberá ser el aislamiento promedio del sistema constructivo que separa el recinto a proteger del supuesto receptor intruso.

5. CONCLUSIONES

• Se ha llegado a encontrar una relación entre el CIS, AI y SNR_{uni32} análoga a la que plantea Bradley. Cabe reseñar que nuestros resultados parten del registro simple de la respuesta impulsiva MLS (obteniendo STI -CIS- y el aislamiento D) y que los desarrollo posteriores se basan en cálculos elementales para distintos esfuerzos de voz estándar (obteniendo AI y el SNR_{uni32})

• Los parámetros acústicos que determinan la privacidad acústica son el ruido de fondo y el asilamiento acústico a ruido aéreo. Estos dos parámetros se calculan de forma simple como promedio aritmético de la 16 bandas de tercio de octava entre 160 Hz y 5000 Hz.

• El desarrollo del trabajo permite justificar este planteamiento tan sencillo obviando las clasificaciones normativas del aislamiento y de la expresión del ruido de fondo. Por lo que se facilita el trabajo a la hora de clasificar un recinto según su privacidad sumando los dos parámetros anteriormente citados ($Lfondo_{promedio}$ y $D_{promedio}$).

• Una vez que hemos conseguido obtener de esta forma el grado de privacidad para la palabra SPC, es cómodo plantear cualquier otro tipo de estratagema donde conocido dos de los tres términos implicados se deducen consecuencias para el otro.

• Se ha encontrado que el índice de articulación AI, que por definición no puede tener valores negativos, se muestra insuficiente para el estudio completo de la privacidad-seguridad del habla entre recintos contiguos. Algo parecido le ocurre al STI para valores excesivamente bajos de inteligibilidad (que es la zona que estamos tratando estudiar) por lo que es más clarificador trabajar con el índice derivado que conocemos como "escala de inteligibilidad natural" conocida por su acrónimo en inglés CIS.

• Creemos que si el aislamiento D se obtienen de una señal MLS, su valor adquiere más consistencia, puesto que su resultado es inmune al ruido de fondo comunitario en el momento de la medición, pero, sin embargo, si que tiene en cuenta la reverberación del espacio receptor y emisor. Así el término correspondiente al ruido de fondo promedio se puede medir de forma independiente según la actividad que se desarrolle en el recinto que consideraremos como receptor.

BIBLIOGRAFÍA

[1]. Acoustics Engineering. *Insulation measurements using Dirac*. Technical Note: TNU006.

[2]. American National Standards Institute. *Methods for the Calculation of the Articulation Index.* ANSI S3.5-1969.

[3]. American Society for Testing and Materials. *Standard Test Method for Objective Measurement of Speech Privacy in Open Offices Using Articulation Index.* ASTM E1130-2002.

[4]. Andersson, N-Å. and Chigot P. *Is the Privacy Index a good indicator for acoustic comfort in an open plan area?* 33 International Congress and Exposition on Noise Control Engineering.

[5]. Barnett, P. W. *Overview of speech intelligibility*. Proc. I.O.A Vol 21 Part 5. (1999).

[6]. Barnett, P. W. and Knight, R.D. *The Common Intelligibility Scale*. Proc. I.O.A. Vol 17, part 7. (1995).

[7]. Bradley, J.S. *From Speech Privacy to Speech Security.* NRCC-49500. 19th International Congress on Acoustics, Madrid, Sept. 2-7, 2007, pp. 1-15

[8]. Bradley, J.S., Gover, B. N. A *New procedure for assessing the speech security of meeting rooms.* NRCC-50574. Proceed. Institute of Acoustics, Reading, U.K., 2008, 20-2, pp. 1-6.

[9]. Bradley, J.S., Gover, B. N. *Speech privacy criteria for closed rooms in terms of Speech Privacy Class.* NRCC- 54470. Canadian Acoustics, 39, (1), pp. 1-10, July-01-11

[10]. Carpena, M.J., Vera, J., Bleda, S., Gimeno, E. *Medidas de aislamiento a ruido aéreo en cerramientos arquitectónicos con técnicas MLS*. Tecniacústica-2003, Bilbao.

[11]. Cavanaugh, W.J., W.R. Farrell, P.W. Hirtle, and B.G. Watters, Bolt Beranek & Newman (1962). *Speech Privacy in Buildings.* Journal of the Acoustical Society of America, vol. 34, pp. 475-492

[12]. Chion, M. *Guide des objets sonores.* Ina/Buchet-Chastel, "Bibliothèque de Recherche Musicale", Paris, 192 p. 1983

[13]. González, A. E., Salas, C. A. *Revisión, evaluación e implementación de normas oficiales de medición del aislamiento acústico aéreo entre recintos.* VI Congreso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008 Buenos Aires.

[14]. Nordtest Method. *Building elements - Facade elements and facades. Field measurements of airborne sound insulation loudspeaker method using MLS noise signals.* NT-acou-102

[15]. Norma Española. *Aplicación de nuevos métodos de medición en la acústica de los edificios y recintos*. UNE-EN-ISO 18233-2006.

[16]. Olsen, W. O. *Average Speech Levels and Spectra in Various Speaking/Listening Conditions: A Summary of the Pearson, Bennett, & Fidell (1977) Report*. American Journal of Audiology. Vol. 7. 1059-0889.

[17]. Pendan, B. *Aislamiento a ruido aéreo entre locales. Estimación de la incertidumbre de medida.* T.F.C. - I.T.T.Sonido e Imagen. Escuela Politécnica Superior - Universidad Carlos III- Madrid.

[18]. Salter, C. M. Associates INC. *Case Studies of a Method for Predicting Speech Privacy in the Contemporary Workplace,* 2003

[19]. Schaeffer, P. *Traite des objets musicaux*. Essai Interdisciplines. 1998. Editeur: Seuil. Collection: Pierres Vives, ISBN: 2-02-002608-2.

[20]. Shield, B. *Review-of-research-on-office-acoustics. A report for the Association of Interior Specialists.* 2009. www.acousticguide.org

[21]. Steeneken, H.J.M. *Forty Years Of Speech Intelligibility Assessment (And Some History).* Proceedings of the Institute of Acoustics: Keynote Lecture at the 40th Anniversary Conference, Birmingham 16 October 2014.

[22]. Stout, J. *Speech Privacy Standards.* Cambridge Sound Management. cambridgesound.com