

INTELIGIBILIDAD DEL AULA MAGNA DE LA E.T.S.A. DE LA U.P.V. EN SAN SEBASTIÁN

A. VELA Y M. ARANA

Laboratorio de Acústica. Departamento de Física  
Universidad Pública de Navarra (U.P.N.A.)

INTRODUCCIÓN

El aula Magna de la E.T.S. de Arquitectura de la U.P.V./E.H.U. en San Sebastián es una original y acogedora sala proyectada por el arquitecto Dr. Miguel Garay, profesor de dicha Escuela. La planta es de forma elíptica con ejes de 22 y 17 metros y altura de 11 metros, con trece pequeños palcos superiores y capacidad para, aproximadamente, 250 personas. La figura nº 1 muestra la planta y alzado de la sala.

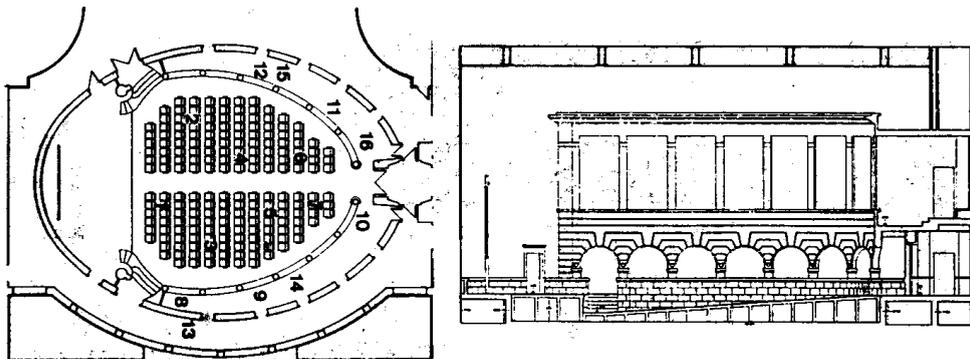


Fig. 1. Planta y alzado de la Sala.

No se realizó un estudio acústico previo con objetivos a alcanzar en cuanto a tiempos de reverberación, difusión del sonido, etc., así como de la necesidad de refuerzos electroacústicos. El resultado más negativo se traduce en los elevados tiempos de reverberación del local.

Hemos llevado a cabo una serie de medidas relativas a pruebas de articulación para determinar la inteligibilidad del local, así como

medidas objetivas para cuantificar la distribución sonora y los tiempos de reverberación, que permitan identificar las causas de una previsible deficiente inteligibilidad y plantear posibles medidas correctoras.

#### MEDIDAS SUBJETIVAS

Las pruebas subjetivas consistieron en la emisión (por parte de 17 lectores diferentes) de cien monosílabos (logatomos) (1) desde la posición usualmente ocupada por el orador. Los 16 oyentes restantes anotaron lo escuchado en las posiciones correspondientes. La posición ocupada por los oyentes era incrementada en cada prueba, de tal forma que cada persona ocupó una vez cada una de las 16 posiciones. Las posiciones de medida se muestran en la figura nº 1; las posiciones 13, 14, 15 y 16 fueron realizadas en palcos. El orden de lectura de los logatomos fue generado al azar para evitar que la retención ayudara a la comprensión. Todos los oyentes fueron personas jóvenes estudiantes de la Escuela.

Basado en consideraciones estadísticas, no fue rechazada ninguna prueba por deficiente dicción de locutores; sin embargo, fueron eliminados dos oyentes al ser su media de monosílabos correctamente comprendidos en todas las pruebas, inferior en mayor cuantía que la desviación standard a la media total para el conjunto de oyentes y pruebas. Algunas anotaciones fueron eliminadas por problemas puntuales de los oyentes. La posición número 16 fue eliminada por ruido puntual próximo intermitente a lo largo de las pruebas.

La Tabla 1 muestra los porcentajes de inteligibilidad,  $P_i$  (tanto por ciento de logatomos correctamente comprendidos) para las 15 posiciones. Los porcentajes permiten calificar a la Sala, en su conjunto, como de simplemente satisfactoria.

oyente

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	$\bar{x}$	$\sigma$
P	86	84	83	87	85	87	92	93	89	93	93	91	•	87	88	88	3
O	86	79	78	83	80	88	•	91	87	•	87	88	•	86	85	85	4
S	91	80	79	75	82	93	75	84	92	78	87	84	•	•	84	83	6
i	84	81	75	71	79	87	79	80	77	83	84	80	84	79	77	80	4
C	77	78	74	70	77	80	73	84	88	70	88	85	•	83	80	79	6
ó	86	79	78	76	•	85	76	79	83	76	69	89	71	74	85	79	6
n	88	85	65	77	67	71	75	74	87	74	80	76	87	73	71	77	7
	85	82	73	71	68	70	69	79	79	•	84	78	76	88	85	76	7
	85	75	•	78	72	76	67	74	80	68	75	81	73	75	88	76	6
	88	80	72	83	68	76	69	•	74	69	82	75	77	72	76	76	6
	76	87	66	75	80	79	71	68	66	67	82	78	67	80	78	75	7
	83	74	81	73	83	79	74	73	77	71	•	80	•	81	82	78	4
	81	81	•	82	73	86	•	72	68	68	57	61	70	76	70	73	8
	81	83	•	68	77	85	77	64	75	67	•	71	65	77	81	75	7
	88	81	64	70	68	86	•	76	78	•	68	70	•	66	63	73	8

Tabla 1. Porcentajes de inteligibilidad media,  $P_i$ , por posición.

#### MEDIDAS OBJETIVAS

Con emisión de ruido rosa en la banda de audio y en posición utilizada por los lectores se tomaron los niveles de presión sonora en las 15 posiciones de prueba. Asimismo, tras interrupción de la fuente, se midieron los tiempos de reverberación en dichas posiciones. Los registros fueron grabados en analizador HP 35665A con micrófono Beyerdynamic CK 701, previamente calibrado. Los resultados de la distribución sonora y tiempos de reverberación en las bandas de octava entre 500 Hz. y 4 KHz. se muestran en la Tabla 2.

**TIEMPO DE REVERBERACION**

Pos.	T.R. (s)			
	Centro de Banda 1/1 Octava (Hz)			
	500	1k	2k	4k
1	2.6	3.0	2.8	2.4
2	2.9	2.9	2.8	2.3
3	2.8	2.9	3.0	2.4
4	2.6	3.2	2.9	2.1
5	2.6	3.0	2.9	2.2
6	2.6	3.3	3.0	2.2
7	2.6	3.2	2.9	2.2
8	2.7	3.1	2.8	2.3
9	2.7	3.1	3.0	2.4
10	2.7	3.0	3.0	2.3
11	2.6	3.2	3.0	2.3
12	2.7	3.0	3.0	2.4
13	2.5	3.0	3.0	2.3
14	2.5	3.1	3.0	2.4
15	2.7	3.1	3.0	2.4

**DISTRIBUCION SONORA**

Pos.	L.E.Q. (dB)			
	Centro de Banda 1/1 Octava (Hz)			
	500	1k	2k	4k
1	76.6	78.0	79.3	69.5
2	74.1	73.5	73.2	66.9
3	73.8	73.2	73.2	66.2
4	74.5	73.9	75.6	71.1
5	73.9	73.2	74.3	70.4
6	74.0	73.4	73.2	69.8
7	73.9	73.0	73.2	70.0
8	74.3	72.2	71.5	65.9
9	73.9	74.3	72.5	66.5
10	73.6	74.5	73.2	70.1
11	73.6	73.7	74.0	68.2
12	75.3	73.7	73.0	66.2
13	74.6	72.9	71.4	65.5
14	76.6	75.4	72.5	67.5
15	75.3	72.9	72.0	66.1

Tabla 2. Distribución sonora y tiempos de reverberación.

**INTELIGIBILIDAD, NIVEL DE SEÑAL Y REVERBERACIÓN:**

Knudsen (2) y Fletcher (3) obtuvieron como resultado de numerosas pruebas, la dependencia de la inteligibilidad con el tiempo de reverberación y el nivel de la señal, respectivamente. Reducidos tiempos de reverberación y nivel de señal (en ausencia de ruido) entre 60-80 dB, favorecen la inteligibilidad del mensaje en el interior de locales. En sus trabajos, los tiempos de reverberación fueron tomados en la banda de 500 Hz; para el nivel de señal, en banda ancha sin ponderación (dB). Asignando coeficientes  $K_T$  y  $K_L$  para el tiempo de reverberación y nivel de señal a fin de normalizar el porcentaje de inteligibilidad entre un 0 % y un 100 %, podemos expresar el porcentaje de inteligibilidad (en ausencia de ruido de fondo) como una función:

$$P_I = P_I (K_T, K_L)$$

En nuestro caso, a partir de la distribución sonora en el local, de los tiempos de reverberación hallados y de los registros de los vocablos emitidos, junto con las gráficas para la determinación de  $K_T$  y  $K_L$  en las referencias (2) y (3), podemos encontrar el porcentaje de inteligibilidad  $P_I$  para nuestro local.

En un anterior trabajo (4), vimos que la concordancia con los resultados de pruebas subjetivas mejora cuando se realiza un análisis de regresión con cuatro coeficientes  $K_T$ , uno para cada banda de octava entre 500 Hz y 4 KHz. En el presente trabajo hemos introducido también los cuatro coeficientes asociados  $K_L$ , en función de la distribución sonora en el local para las mismas cuatro bandas, hallados de las pruebas objetivas de distribución sonora. En definitiva, hemos intentado predecir el porcentaje de inteligibilidad para cada posición del local en función del nivel de señal y tiempo de reverberación, teniendo en cuenta coeficientes  $K_T$  y  $K_L$  para cada una de las cuatro bandas de octava entre 500 Hz y 4 KHz.

Los resultados de la regresión aportaron un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.79 y un error standard de 2,3, lo cual muestra la bondad de la predicción. Con este nuevo criterio, aplicado al local objeto del citado trabajo (4) las predicciones de la regresión mejoran notablemente.

La figura 2 muestra los valores experimentales y predichos.

La figura 3 muestra la correspondiente recta de regresión

Indudablemente, los elevados tiempos de reverberación son la causa de una deficiente inteligibilidad. Actualmente, estamos en fase de selección y adecuada colocación de material absorbente que ofrezca unos óptimos tiempos de reverberación sin perjuicio apreciable de una correcta distribución sonora.

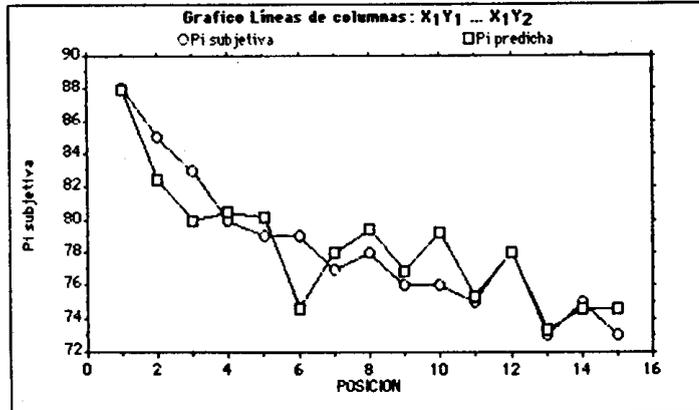


Fig. 2. Representación de los Pi experimentales (subjetivas) y los predichos mediante pruebas objetivas.

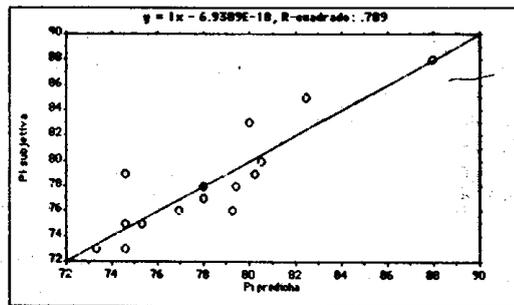


Fig. 3. Recta de regresión correspondiente a la fig. 2.

#### BIBLIOGRAFÍA

- (1) Pérez-Miñana, J. Compendio práctico de acústica aplicada. Ed. Labor 1969
- (2) Knudsen, V.O. Phys. Rev. 26 (1925), J.A.S.A. I (1929)
- (3) Fletcher, H. Speech and Hearing, 2nd edn. Van Nostrand, N.Y. 1953
- (4) Arana, M.; Vela, A. Estudio de la Inteligibilidad de la palabra en el Teatro Gayarre de Pamplona. Tecnicústica, 1992. Pag. 121-124