

## Determinación del índice de inteligibilidad de un recinto mediante la relación señal-ruido y el tiempo de reverberación

J.M. del Moral Fernández, M. Ortega Cano, C. de Castro Carranza, E. Gaite Domínguez

Departamento de Termodinámica y Física Aplicada (E.U.P. de Valladolid)  
Francisco Mendizábal, 1. 47014 Valladolid

### Abstract

Sound system designers need to be able to measure speech intelligibility in real environments. Today we have an accurate and rapid method of measuring intelligibility with acoustic instruments: The Rapid Speech Transmission Index (RASTI). But RASTI instruments are very expensive because they are only useful for that purpose. Here we use an indirect method for evaluate intelligibility using Early Decay Time (EDT) and the signal to noise ratio in dB (S/N) at listener's position. This parameters can be measured with a sound level meter.

### Objetivo

El objetivo del presente trabajo es la búsqueda de un proceso equivalente que sustituya con máxima fiabilidad al RASTI, con un coste bajo y con la menor complicación posible. Para ello, se intentará demostrar que se puede obtener el índice RASTI operando con los valores de relación señal-ruido y tiempo de reverberación.

Históricamente la medición de estas dos magnitudes (EDT y S/N) ha sido muy común, por lo que existen instrumentos que, con un relativamente bajo precio, consiguen evaluar ambos parámetros. Así pues, se utilizará un sonómetro que nos mida relación señal-ruido y tiempo de reverberación para posteriormente evaluar la inteligibilidad.

### Método indirecto para evaluar el RASTI

Derivado del STI, el RASTI constituye un método para determinar la inteligibilidad del habla en un recinto. Ambos métodos fueron introducidos por Hougast y Steeneken aplicando la Función de Transferencia de Modulación (MTF) para caracterizar la inteligibilidad.

Nuestro método va a considerar como únicas causas de la degradación de la señal que se transmite en la sala, la relación señal-ruido en la posición del oyente y el tiempo de reverberación (que dependerá de las posiciones del orador y del oyente en salas reales).

En el caso hipotético de un camino de transmisión en el que la curva de reverberación tiene una caída exponencial pura, caracterizada por su tiempo de reverberación, es decir, el sonido directo en la posición del oyente es despreciable y la señal sólo contiene sonido reverberante, se puede obtener la siguiente ecuación para el índice de modulación:

$$m(F) = \frac{1}{\sqrt{1 + (2\pi F T / 13,8)^2}} \cdot \frac{1}{1 + 10 \frac{-}{N^{10}} s^{-1}} \quad (1)$$

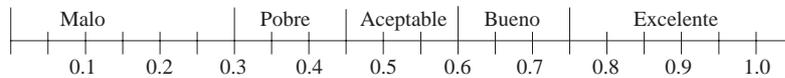
Siendo  $F$  la frecuencia de modulación,  $S/N$  la relación señal-ruido y  $T$  el tiempo de reverberación medido bajo el criterio EDT.

Una vez medidos  $S/N$  y  $T$  sustituimos en la ecuación (1) y a partir de aquí, seguiremos el mismo proceso de cálculo que utiliza el RASTI a partir de la medida de la  $m(F)$ .

El método RASTI

El análisis de la MTF que utiliza el RASTI se realiza en dos bandas de frecuencia, las centradas en 500Hz y 2kHz. En la banda de 500Hz se toman cuatro frecuencias de modulación (1, 2, 4 y 8Hz) y en la banda de 2kHz se toman cinco (0.7, 1.4, 2.8, 5.6 y 11.2Hz).

Los valores RASTI pueden ser convertidos directamente en índices de inteligibilidad obtenidos por métodos subjetivos gracias a estudios comparativos realizados. También pueden interpretarse de forma cualitativa como se muestra en el siguiente esquema:



La señal portadora consiste en dos octavas de ruido rosa limitadas en las dos bandas citadas. Los niveles de estas octavas se eligen iguales a los niveles medios de la voz en una conversación, i. e. 59dB y 50dB a un metro respectivamente. Las frecuencias de modulación presentes en la voz humana se simulan mediante las 9 frecuencias citadas.

Para medir el RASTI, se transmite esta señal de test desde la posición en la sala del hablante y se analiza en la posición de los oyentes, calculando directamente la reducción de la modulación para las 9 frecuencias. Estos índices de reducción de la modulación se interpretan como si hubiesen sido causados únicamente por ruido de fondo (en la ecuación (1) se hace  $T = 0$  y se despeja  $S/N$ ), obteniéndose nueve relaciones  $S/N$  ( $X_1, \dots, X_9$ ), una para cada índice de modulación:  $X_i = 10 \log(m_i/1 - m_i)$ .

Estos valores se truncan a  $\pm 15$ dB, de forma que si  $X_i > 15$ dB, se toma  $X_i = 15$ dB y si  $X_i < -15$ dB, se toma  $X_i = -15$ dB. Luego, se halla la media aritmética de estos nueve valores, y se normaliza el resultado de forma que el índice Rasti quede comprendido entre 0 y 1:  $RASTI = (\langle X_i \rangle + 15)/30$

## Resultados

Se ha evaluado el RASTI en cinco salas de la Escuela Universitaria Politécnica de Valladolid mediante el Medidor de Transmisión del Habla tipo 3361 de B&K y, de forma indirecta, con el Medidor de Nivel Sonoro tipo 2231 de B&K con los módulos de Integración (BZ7110) y de Acústica de Edificios (BZ7114). En el segundo caso es necesario el uso de un generador de ruido como fuente de señal y un altavoz y un amplificador.

Las medidas de relación señal-ruido se tomaron en respuesta temporal "fast" y ponderación en frecuencia A, empleando un periodo de medida de 10 segundos. Para cada sala se eligieron un cierto número de puntos de medida, en cada uno de los cuales se hicieron 3 medidas de señal y otras 3 de ruido. Para las medidas de señal, se usó como fuente, el generador de ruido WB1314, y, como el objetivo es la comparación con el método RASTI, el nivel de la señal se eligió de manera que coincidiese con el de la señal de prueba en dicho método: 59dB para la banda de octava centrada en 500Hz y 50dB para la centrada en 2kHz, refiriéndose a nivel de presión sonora (SPL) a 1 metro.

En las medidas de tiempo de reverberación se usó el criterio EDT porque se ha mostrado más importante en el ámbito de la inteligibilidad de la palabra y en la descripción de las propiedades subjetivas de reverberación de las salas (hipótesis que hemos corroborado en nuestras medidas). El sonómetro empleado usa el llamado método impulsivo para la medida del tiempo de reverberación. En los mismos puntos de las salas en que se midió la relación señal-ruido se midió tres veces el EDT. El altavoz se colocó en una esquina y orientado hacia ella, de forma que pudiera excitar el mayor número de modos en la sala.

En la tabla se sumarian los resultados globales obtenidos:

| SALA           | VOLUMEN           | Nº de puntos de medida | EDT (500Hz)<br><x>±σ (seg.) | EDT (2kHz)<br><x>±σ | RASTI MEDIDO | ASTI CALCULADO |
|----------------|-------------------|------------------------|-----------------------------|---------------------|--------------|----------------|
| Aula SS42      | 158m <sup>3</sup> | 6                      | 2,18±0,11                   | 1,92±0,05           | 0,42±0,01    | 0,43±0,01      |
| Aula P51       | 244m <sup>3</sup> | 6                      | 0,88±0,05                   | 0,91±0,04           | 0,60±0,03    | 0,59±0,01      |
| Aula P41       | 344m <sup>3</sup> | 9                      | 1,73±0,09                   | 1,70±0,02           | 0,46±0,04    | 0,47±0,01      |
| Aula B31       | 414m <sup>3</sup> | 12                     | 2,03±0,06                   | 1,93±0,05           | 0,44±0,03    | 0,43±0,01      |
| Salón de Actos | 925m <sup>3</sup> | 42                     | 0,62±0,08                   | 0,48±0,07           | 0,70±0,03    | 0,70±0,03      |

Del número total de puntos de medida para las cinco salas tan solo tres puntos concretos daban una significativa discrepancia entre el RASTI medido y el calculado. Concretamente fueron los puntos más cercanos a la fuente u orador de las salas P51, P41 y B31:

| SALA | RASTI MEDIDO | RASTI CALCULADO |
|------|--------------|-----------------|
| P51  | 0,67         | 0,61            |
| P41  | 0,55         | 0,47            |
| B31  | 0,52         | 0,44            |

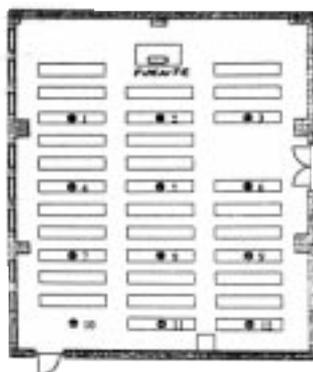
Como ejemplo, en el plano del aula B31 que se dibuja más adelante, el punto de discrepancia es el punto número 2, el más cercano a la fuente.

### Conclusiones

Hasta ahora, la medición de la inteligibilidad era un aspecto secundario en el ámbito de la acústica arquitectónica, ya que resultaba caro utilizar el instrumento que la medía (RASTI). Además, este aparato no resultaba útil para conocer ningún otro parámetro importante dentro de este campo, como puede ser el tiempo de reverberación o la relación señal-ruido (aunque Hotgast y Steeneken diseñaron un laborioso método, mejorado por nosotros, para hallar el EDT y la relación S/N a partir de los datos del RASTI). De esta forma, cuando se diseñaba una sala, sólo se contaba con la reverberación, que es fácilmente medible con un sonómetro, instrumento cómodo, fiable y de un precio ostensiblemente inferior al RASTI.

Para evitar los anteriores problemas, se pensó en utilizar el método indirecto descrito. De nuestro estudio podemos concluir que el índice RASTI puede ser evaluado perfectamente de esta manera en todos los puntos de un recinto considerado, con la excepción de aquellos puntos que por su cercanía a la fuente emisora u orador, no se encuentran en un campo difuso.

Las salas estudiadas vemos que varían tanto en volumen, como en tiempo de reverberación, como en RASTI: Salas muy pequeñas pero con un tiempo de reverberación muy elevado y un RASTI bajo (SS42) o salas grandes con un tiempo de reverberación corto y RASTI elevado (Salón de actos).



Esquema del aula B31.

En contra de nuestro método de evaluación está el hecho de que la medida del índice de inteligibilidad usando el RASTI es muy rápida y sencilla, pudiendo conocerse en apenas 8 segundos sin necesidad de realizar cálculos de ningún tipo. Además, nuestro método no es completamente fiable para puntos situados muy cerca de la fuente, pero precisamente estos puntos son los que nunca suelen tener problemas de inteligibilidad (nuestro método da valores sistemáticamente menores de RASTI para estos puntos).

La elección de uno u otro método dependerá de cual de las anteriores razones prime más sobre las otras. En principio, para la mayoría de las aplicaciones, pensamos que el gasto que supone la adquisición de un RASTI, junto con su limitado campo de actuación, puede aconsejar nuestro método indirecto.

#### Bibliografía

- (1) RASTI: A tool for evaluating auditoria. HOUTGAST, T & STEENEKEN, H.J.M. (1985). Brüel & Kjaer technical. Rew. 3.
- (2) Índice de inteligibilidad y tiempo de reverberación. MORAL J.M. & ORTEGA M. (1996). Proyecto fin de carrera E.U.P. Valladolid.
- (3) Cálculo de tiempo de reverberación a partir del índice, RASTI. (1995). A. RECHE, J. VILLALBA DE CASTRO, E. GAITE. Jornadas Nacionales de Acústica. Tecniacústica 95.
- (4) Índice de inteligibilidad en recintos acústicos. J. Villalba, a. reche. (1995). PROYECTO FIN DE CARRERA. E.U.P. Valladolid.
- (5) A review of the MTF concept in room acoustics and it's use for estimating speech intelligibility in auditoria (1985). T. HOUTGAST, H.J.M. STEENEKEN. Journal of Acoustical Society of America 77, 1060-1077.
- (6) Instruction manual for Speech Transmission Meter type 3361. (1987). Brüel & Kjaer.