



INTELIGIBILIDAD DEL SALON DE PLENOS DEL EXMO. PARLAMENTO DE NAVARRA

Miguel Arana Burgui.
Licenciado en Ciencias Físicas

El siguiente trabajo presenta los resultados obtenidos en una experiencia sobre inteligibilidad realizada en el Salón de plenos del Exmo. Parlamento de Navarra, Salón cuya planta se muestra en el plano adjunto.

Se introduce primeramente el concepto de inteligibilidad y los factores de los que depende. Se calcula el coeficiente de inteligibilidad en base a los resultados experimentales obtenidos para dichos factores y se compara con los ensayos de articulación realizados.

Finalmente, se valora la inteligibilidad del Salón de Plenos y se citan las modificaciones necesarias para su optimización.

I. Introducción

En la sociedad moderna cada vez es mayor el número de locales destinados a la audición, bien sea de palabra bien sea de música: salas de conferencias, cines, teatros, etc. Es claro que en dichos locales la calidad acústica es uno de los requisitos más importantes. Por una parte, será necesario que dichos locales estén bien aislados del ruido exterior, cada vez mayor en una sociedad industrializada, y por otra parte es necesario que la audición en el interior sea cómodamente inteligible. Si bien los requisitos exigibles a un recinto para que posea una calidad acústica óptima varían según el uso a que vaya a ser destinado, existe un propósito general de uso que puede englobarse como de "óptima comunicación". Como requisitos fundamentales podemos citar los siguientes:

- Que la "amplitud" de la señal sonora sea suficiente para alcanzar los extremos del recinto y ser fácilmente detectable.
- Que el nivel del "ruido de fondo" (ajeno a la información que se desea transmitir) tanto del exterior como del interior, perjudique lo menos posible la audición.
- Que exista una distribución uniforme del sonido en el recinto; es decir, ausencia de puntos oscuros, donde el nivel es bajo, o excesivamente claros, donde la concentración del sonido es excesiva.
- Que el tiempo durante el cual es audible un sonido no sea excesivamente corto, lo cual hace que sea seco e "incolore", requiriendo un esfuerzo en la atención; ni tampoco excesivamente largo, de tal forma que interfiera acusadamente a los siguientes, haciendo

ininteligible la audición. Este tiempo dependerá también de la función a que esté destinado el local; un tiempo óptimo para la audición de palabras no será, en general, óptimo para la audición de música; incluso para distintos tipos de música, el tiempo óptimo varía.

Los requisitos anteriores muestran claramente que son varios los factores a tener en cuenta a la hora de estudiar y proyectar locales cerrados destinados a la audición. Actualmente estos estudios conforman una rama de la Acústica que se conoce como Acústica Arquitectónica y que podemos definir como el conjunto de reglas y preceptos necesarios a la Arquitectura para proyectar la construcción de edificios y locales con condiciones acústicas óptimas.

II. Inteligibilidad.

Las condiciones acústicas de un local cuyo destino predominante es la palabra quedan reflejadas cuantitativamente por los ensayos de articulación. En el caso del Salón de Plenos del Exmo. Parlamento de Navarra, la única finalidad, acústicamente hablando, es la emisión y audición de la palabra, mereciendo este apartado una atención preferente al estudiar las condiciones acústicas del Local.

Se define al respecto el concepto de *inteligibilidad*; viene dado por el porcentaje de sílabas correctamente entendidas del total de las pronunciadas. Lo denotaremos por P_i , porcentaje de inteligibilidad o inteligibilidad simplemente. Dicho porcentaje depende de varios factores que comentaremos brevemente y a los que se asocia un cierto coeficiente. La relación que liga el porcentaje de inteligibilidad, P_i , con dichos factores viene dada por la ecuación:

$$P_i = 96 \times K_L \times K_T \times K_N \times K_S (\%)$$

donde:

K_L : coeficiente que depende del nivel sonoro.

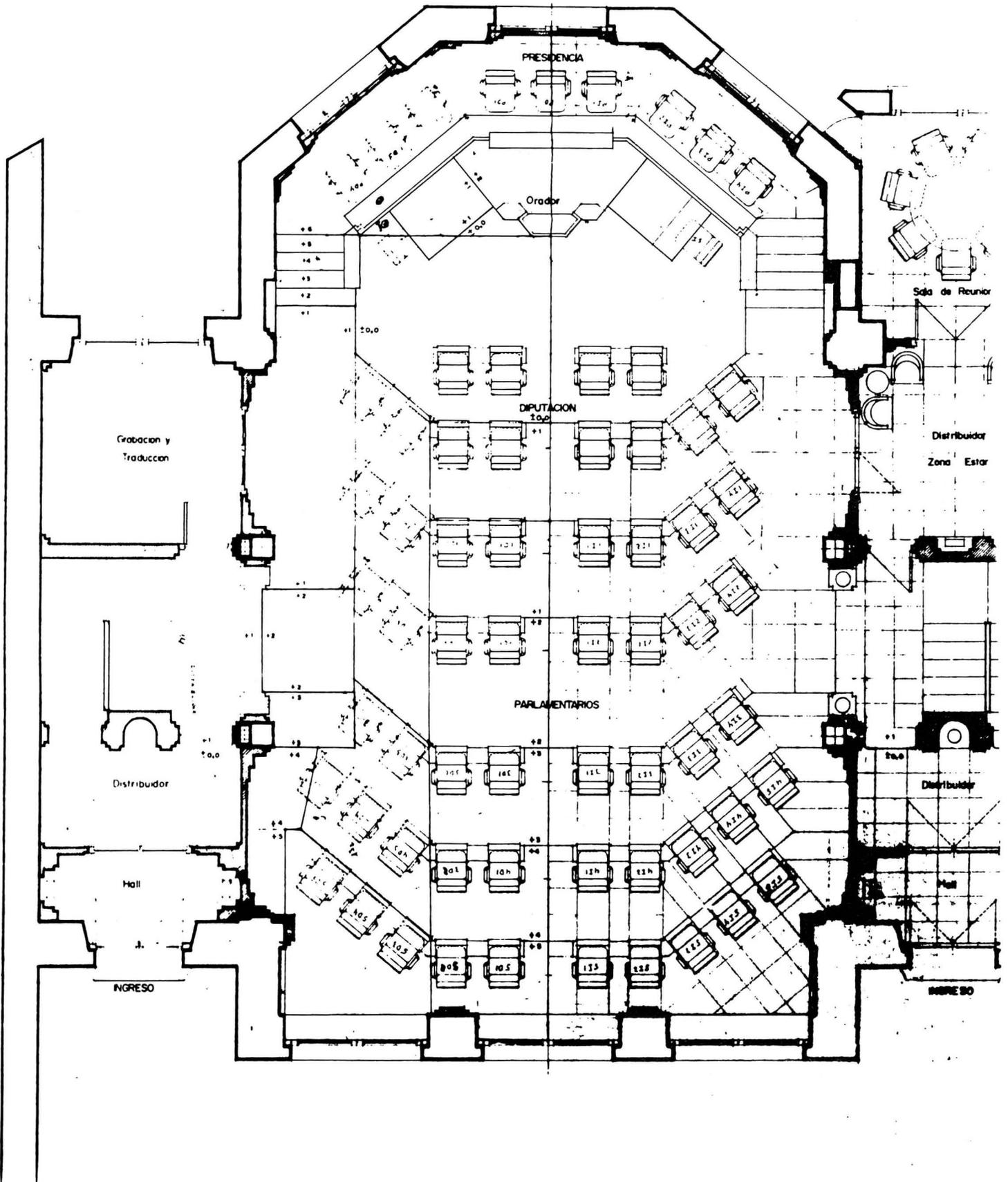
K_T : coeficiente que depende del tiempo de reverberación

K_N : coeficiente que depende de la relación ruido-sílabas.

K_S : coeficiente que depende de la forma y dimensiones del recinto.

Como valores orientativos, se considera "excelente" un porcentaje del 95%, como "bueno" un porcentaje del 85% y como "satisfactorio" un porcentaje del 75%; el 70% se considera "regular" y el 65% da una inteligibilidad "deficiente"; inferiores al 65% se consideran "inaceptables". Hay que decir que actualmente tal calificación se considera permisiva y que la tendencia es a una adjetivación más exigente.

En primer lugar, P_i depende del nivel sonoro existente; esta dependencia se





ha determinado experimentalmente, mostrándose dicha dependencia en la figura nº 1. Se observa que un nivel de presión sonora entre 60 y 80 dB facilitará la inteligibilidad. Si bien entre 80 y 100 dB el coeficiente K_L está muy cercano a la unidad, largas exposiciones a éstos niveles comienzan a resultar molestas.

Un segundo factor es el tiempo de reverberación, al que se asocia un coeficiente K_T . La dependencia de este coeficiente, experimentalmente determinada, se muestra en la figura nº 2.

Tiempos de reverberación cortos facilitan la inteligibilidad pero producen sonidos "incoloros" y exigen un esfuerzo en la atención. Volveremos a este punto tras comentar los dos coeficientes restantes.

Un tercer coeficiente es K_N , que depende de la relación ruido-símbolo. Como ruido entenderemos toda energía sonora ajena a la señal que se quiere transmitir y que proviene tanto del exterior como del interior; es ruido interior el debido a sistemas de aire acondicionado, ruido de la propia megafonía, etc. Por ruido exterior entendemos todo el que se produce en fuentes externas al local, como dependencias contiguas, ruido de tráfico, etc. La figura nº 3 muestra esta dependencia.

Cuando la relación ruido-símbolo está por debajo de 0,25 el coeficiente K_N vale prácticamente la unidad.

El cuarto y último coeficiente, K_S , muestra la influencia de la forma y dimensiones del recinto. Para un local de forma rectangular y dimensiones no muy grandes (tales como inmensas catedrales, grandes polideportivos cubiertos, etc.) dicho coeficiente está muy cercano a la unidad. Sólo en caso de geometrías muy complejas o dimensiones muy grandes puede disminuir en forma apreciable.

Para obtener un porcentaje de inteligibilidad catalogado como excelente se ha de conseguir unos coeficientes muy cercanos a la unidad. Si el local tiene forma rectangular y dimensiones "normales" y si la relación ruido-símbolo está por debajo de 0,25, tanto K_N como K_S valen prácticamente la unidad y P_i podrá expresarse por:

$$P_i = 96 \times K_L \times K_T \text{ (\%)}$$

Obviamente, P_i será máximo cuando lo sea el producto $K_L \times K_T$. El tiempo óptimo de reverberación debe establecerse reduciendo el tiempo de reverberación hasta lograr una relación de compromiso entre la claridad de la palabra y el nivel de presión sonora.

En la figura nº 4 se representan (para un recinto de 11.000 m³) los coeficientes K_L y K_T así como su producto. El producto $K_L \times K_T$ posee un valor máximo en un punto, representando este punto el tiempo óptimo de reverberación (T_{op}) para dicho recinto.

Repetiendo el proceso para distintos volúmenes, podemos obtener una gráfica

que nos muestre la dependencia del porcentaje de inteligibilidad en función del tiempo de reverberación y que muestra claramente cuál es el tiempo óptimo de reverberación para un volumen dado que proporciona una máxima inteligibilidad. Se muestra esto en la figura nº 5.

III. Experiencia realizada y resultados obtenidos

Definimos el porcentaje de inteligibilidad, P_i , como el porcentaje de sílabas correctamente entendidas del total de las pronunciadas. El primer punto importante para esta experiencia es la elección de las sílabas a emitir; para que sean representativas del idioma deben emplearse, en el conjunto de todas ellas, las distintas letras del alfabeto en proporción análoga a la que se usan en el lenguaje corriente. Tras estudios realizados en textos españoles y tomando como base los correspondientes tantos por ciento, se ha confeccionado una lista de cien monosílabos a los que se denomina *Logatomos*. La lectura de cada grupo es conveniente que vaya precedida por una frase (por ejemplo: "por favor escuchen", "se ruega atención", etc.) para establecer un régimen normal de nivel sonoro.

La experiencia fué realizada por cinco personas jóvenes sin problemas de articulación y sin deficiencias auditivas. Cada lector pronunciaba los cien logatomos en el lugar destinado al orador, mientras los cuatro restantes copiaban en cuatro lugares diferentes del Salón; se repitió así el ensayo cambiando al lector y permutándose de lugar los oyentes. En cada ensayo se varió el orden de lectura a fin de que su retención no ayudase a la comprensión. En total se leyeron 500 logatomos y se copiaron, lógicamente, 2000.

El número de sílabas correctamente entendidas fué de 1595, dando por tanto una inteligibilidad de: $(1595/2000) \cdot 100 = 79,75\%$, pudiendo poner, con suficiente grado de aproximación:

$$P_i = 80\%$$

Este valor del 80% permite entender las frases sin esfuerzo excesivo y el Salón de plenos del Excmo. Parlamento de Navarra tiene asociada por tanto una inteligibilidad que podemos catalogar como satisfactoria pero sin llegar a ser buena. Para locales como el que estamos estudiando, la inteligibilidad debiera ser excelente. Veamos a continuación las razones de esta deficiencia.

Volvamos a escribir la fórmula semiempírica que nos daba el porcentaje de inteligibilidad en función de los cuatro coeficientes:

$$P_i = 96 \times K_L \times K_T \times K_N \times K_S \text{ (\%)}$$

Tanto el nivel sonoro alcanzado en la experiencia como el utilizado habitualmente en las sesiones celebradas en los plenos está en el rango 75-80 dB(A), por

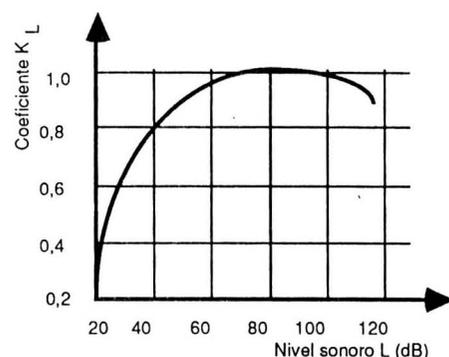


Fig. 1.- Variación del coeficiente K_L en función del nivel sonoro.

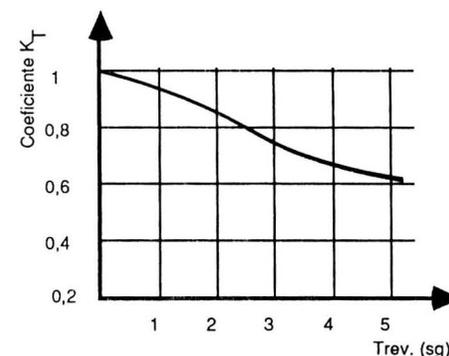


Fig. 2.- Variación del coeficiente K_T en función del tiempo de reverberación T .

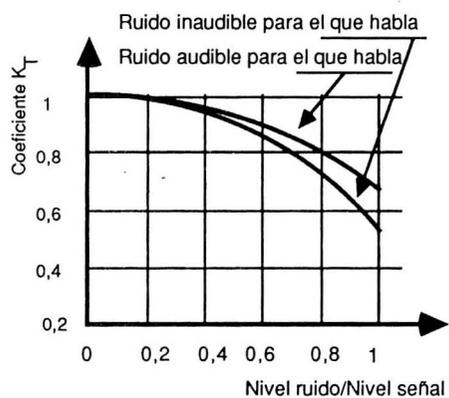


Fig. 3.- Coeficiente K_N en función de la relación ruido-símbolo, cuando el ruido es audible para el que habla y cuando no lo es.

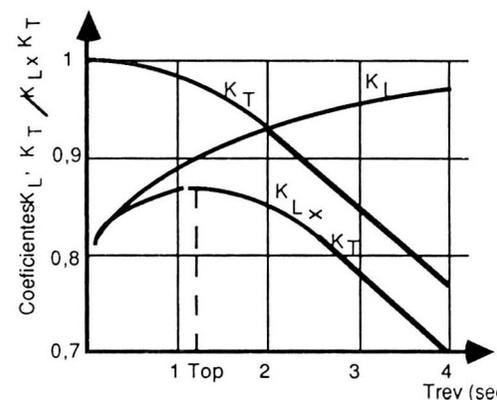


Fig. 4.- Determinación del valor del tiempo óptimo de reverberación para un recinto de 11.000 m³

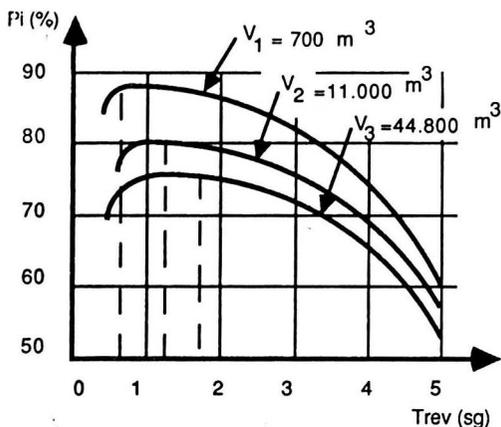


Fig. 5.- Porcentaje de inteligibilidad en función del tiempo de reverberación. Las líneas a trazos muestran los tiempos óptimos.

lo que el coeficiente K_L (ver figura nº 1) podemos tomarlo igual a la unidad.

$$K_L = 1$$

Para la Sala ocupada se encontró que el tiempo de reverberación (utilizando las frecuencias de 500 y 1.000 Hz) está en el intervalo 1,15 - 1,20 segundos, al que corresponde un valor de K_T entre 0,92 - 0,93 (ver figura nº 2).

$$0,92 < K_T < 0,93$$

La experiencia fué realizada con las persianas extendidas y no funcionando el sistema de aire acondicionado. La experiencia se realizó a una hora de intenso tráfico (habitual, por otra parte, en la Avda. Carlos III durante horas diurnas); se tomaron registros en el exterior utilizando previamente un pistófono para tener una referencia en el papel del registrador de nivel tipo 2206 (de la firma B&K). El estudio de dichos registros mostró un $Leq = 73$ dB(A). Utilizando el valor encontrado para el aislamiento acústico al ruido de tráfico en el caso de persianas extendidas, cuyo valor era 38 dB(A), se obtiene un valor para la relación nivel ruido/nivel señal, de: $(73 - 38) / 80 = 35/80 = 0,44$. Evidentemente este es un valor promediado, no constante. La figura nº 3 muestra que el correspondiente coeficiente K_N es 0,9

$$K_N = 0,9$$

Tenemos, por tanto, que P_i está comprendido entre los valores:

$$96 \times 1 \times 0,92 \times 0,9 = 79,5$$

$$96 \times 1 \times 0,93 \times 0,9 = 80,4$$

Dado que el porcentaje de inteligibilidad obtenido en la experiencia resultó del 80%, podemos asignar a K_S el valor 1.

La razón de este análisis anterior está justificada dada la extraordinaria dificultad de obtener el valor de K_S de forma

teórica; está comprobado que para salas de forma rectangular y dimensiones "normales", dicho coeficiente vale la unidad.

IV. Conclusiones

Como ya hemos indicado, el coeficiente de inteligibilidad del Salón de Plenos deja bastante que desear. Hay que destacar, además, que tanto en la experiencia como en el cálculo de P_i mediante la fórmula semiempírica, se ha realizado sin tener en cuenta el ruido producido por la instalación de aire acondicionado. Dicha instalación produce un Nivel de Presión Sonora (N.P.S.) de 45 dB(A), lo que hace disminuir el factor K_N y por tanto la inteligibilidad.

Para conseguir una inteligibilidad excelente (exigible a nuestro punto de vista a Locales destinados a este uso) es necesario optimizar los factores K_T y K_N . El tiempo de reverberación es excesivo para un local de estas dimensiones, debido a la pequeñísima absorción de suelo, paredes y techo; tratando dichos paramentos, debiera conseguirse un tiempo de reverberación de, aproximadamente, 0,7 segundos, ideal para el volumen del Salón. Mejorando en 10 dB(A) el aislamiento de los ventanales (pues las paredes poseen un aislamiento muy aceptable) se consigue una relación nivel ruido/nivel señal de $(73-48)/80 = 0,31$, lo que da un factor $K_N \approx 0,96$.

Con estas modificaciones y la deseable y exigible disminución del ruido producido por la instalación de aire acondicionado, puede llegarse a unos porcentajes de inteligibilidad superiores al 90%, porcentaje calificado de "muy bueno" y con una audición clara y sin esfuerzos.



LABORATORIO DE ACUSTICA

EL RUIDO MOLESTA
EL RUIDO PUEDE CONTROLARSE
LA NORMATIVA OBLIGA A SU CONTROL

Ofrece los servicios de:

MEDICIONES E INFORMES
ESTUDIOS
CONTROL
ACONDICIONAMIENTOS
IMPACTO AMBIENTAL DEL RUIDO

Para ampliar información dirigirse a:

LABORATORIO DE ACUSTICA

c/ PINTOR CRISPIN, 12-1º C - Tfnos. 26 79 88 - 27 84 82
31008 PAMPLONA