

LA ACÚSTICA DISEÑADA DESDE SU EXPRESIÓN GRÁFICA

PAC: 43.55.Ka

Beckers Benoit; Coch Roura Helena
Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, ETSAB, UPC.
C/ Diagonal, 649, 7ª pl.
08028 Barcelona
España
Tel: 34-934016422
Fax: 34-934016426
E-Mail: benoitbeckers@hotmail.com

ABSTRACT

A new software, "Radit2d" (authors: Benoit Beckers & Luc Masset, 2002) has been taught to students in architecture for three years, in our school, resulting in a notable increment of the acoustical quality in their auditoriums and theatres design. Furthermore, we think that this didactic approach may indicate a different way for further investigation in room acoustics, based in a more architectural approach. This article pretends to illustrate such an idea, showing the first results and the first developments of a very simple idea: a software following, guiding and thinking the architectural project in his own natural way.

RESUMEN

Un nuevo programa informático, "Radit2d" (autores: Benoit Beckers & Luc Masset, 2002) ha sido enseñado a estudiantes de arquitectura durante los tres últimos años, en nuestra escuela, conduciéndolos a notables mejorías en sus diseños acústicos de auditorios y teatros. Creemos que este acercamiento didáctico abre una vía diferente, más arquitectónica, para la investigación en acústica de salas. Este artículo pretende ilustrar tal idea, mostrando los primeros resultados y los primeros desarrollos de una idea muy sencilla: un programa que sigue, guía y piensa el proyecto de arquitectura según su propia vía natural.

1. Tantos programas...

Demasiadas veces, los programadores en acústica de salas se han dejado llevar hacia la realización de productos muy sofisticados, los cuales, tras un par de publicaciones en revistas internacionales, han, por así decirlo, desaparecido del paisaje. Por lo menos, nunca han entrado en las escuelas de arquitectura, y podemos dudar honestamente de su imperio sobre los grandes proyectos de auditorios y teatros, para la elaboración de los cuales se siguen produciendo, actualmente, costosas maquetas acústicas, prueba de que las previsiones optimistas de hace más de treinta años sobre el futuro de la simulación no han resistido, en este campo, al rigor de los hechos.

¿Qué ha sido de los algoritmos basados en elementos finitos¹, diferencias finitas, cadenas de Markov, trazado de rayos², conos, pirámides³ o caminos⁴? Y todavía, en la

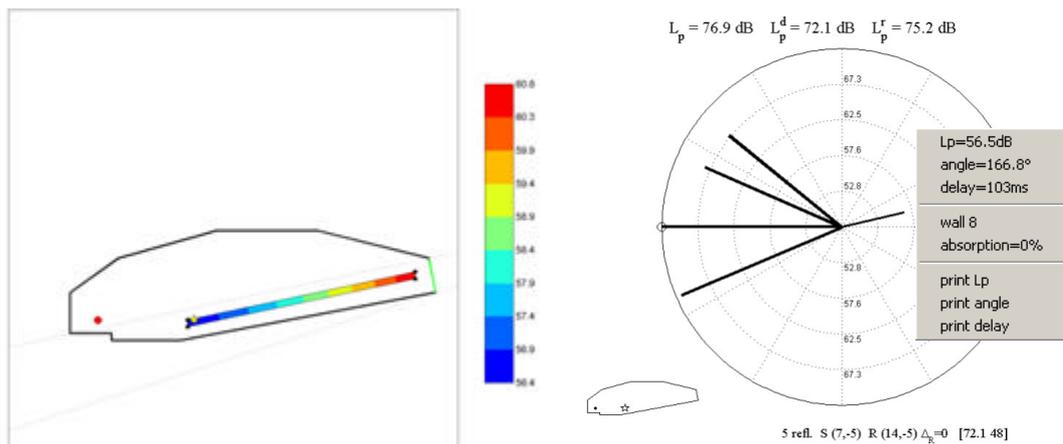
práctica, la simple orientación de un panel reflector sigue haciéndose manualmente, con la regla y el compás⁵, en un penoso proceso iterativo...

La idea del programa "Radit2d"⁶, al cual hemos introducido en el artículo anterior⁷, es de hacer todo lo contrario: partir de la situación concreta más sencilla, resolverla, y pasar a la siguiente, hasta donde nos lleve la lógica del algoritmo así empezado. Y sobre todo: seguir los arquitectos en sus proyectos. Al fin y al cabo, ¿no son ellos los que diseñarán, solos, la mayoría de los espacios públicos? En vez de criticarlos por llamar demasiado tarde al acústico especializado, cuando ya han planteado una forma general a menudo problemática, ¿no sería mejor ayudarles a mejorar por sí mismos sus diseños, a tomar consciencia de la incidencia acústica de los primeros trazos en sus proyectos?

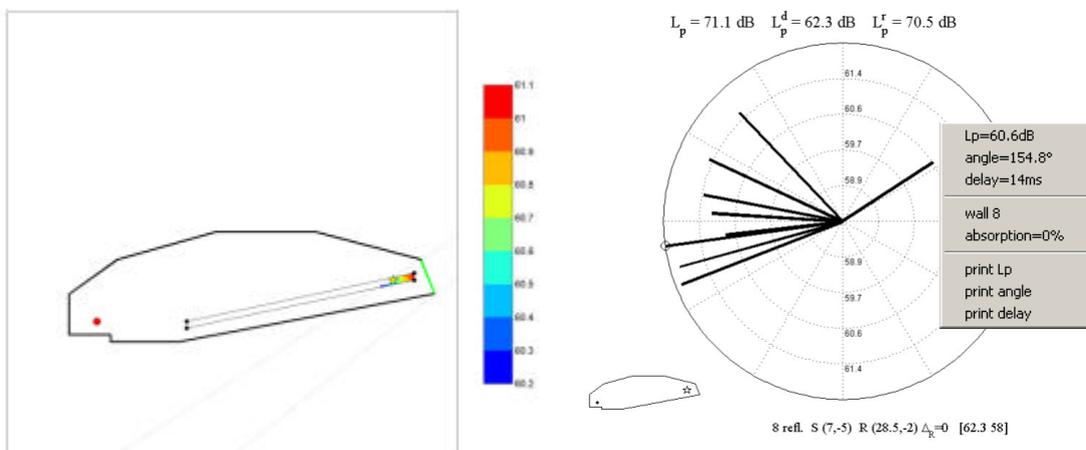
2. Primeras ideas

La primera idea al origen del programa era la de poder trabajar rápidamente, en planta o en sección, para orientar conscientemente las superficies de las paredes, del techo, del escenario, de las gradas y de los eventuales reflectores adicionales en un recinto, de modo que las primeras reflexiones se dirigiesen adonde se juzgara conveniente.

La ventaja de trabajar con dos representaciones complementarias - un mapa de los niveles sonoros cubriendo el público y unos diagramas polares ofreciendo una información detallada pero puntual⁷ - se ilustra en el ejemplo siguiente:



El panel del fondo de la sala está orientado de tal manera que refleja el sonido directo hacia las primeras filas: el diagrama polar nos muestra que allí, causa un atraso superior a 100 milisegundos, que puede dañar la inteligibilidad de la palabra. Par evitarlo, podríamos cubrir esta pared con un material absorbente, pero podemos también corregir su orientación:

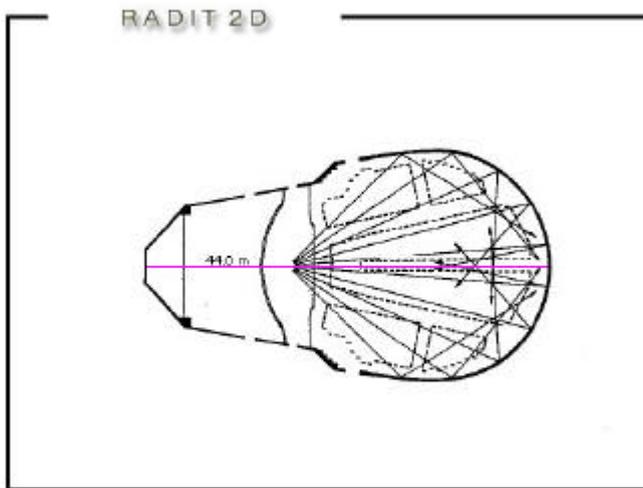


Una vez reorientado, el panel sigue cubriendo las filas traseras, las más necesitadas de refuerzo por hallarse más lejos de la fuente, trayéndoles una reflexión muy fuerte (poco atrasada con respecto al sonido directo, con menos de 2 dB de diferencia), sin perjudicar ya a las primeras filas...

Con un poco de geometría, se evita un gasto inútil en absorbentes y, muy probablemente, las condiciones acústicas resultantes son mejores...

3. Una ayuda a la lectura.

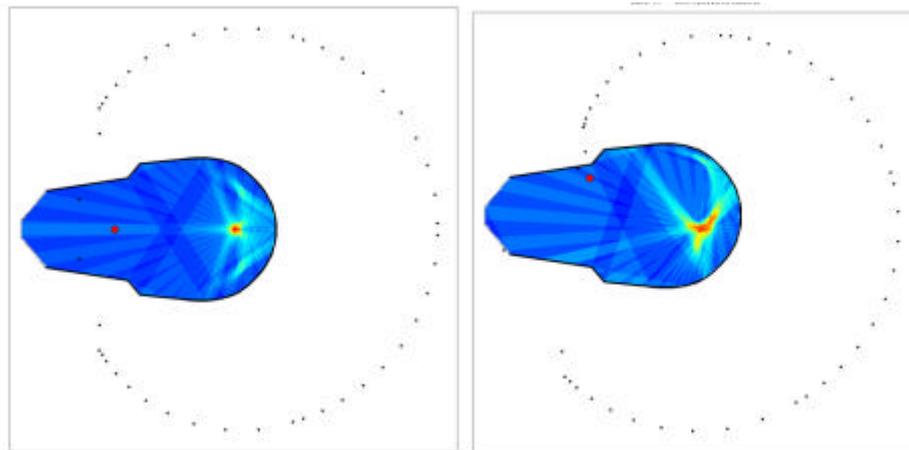
Los libros de acústica arquitectónica suelen estar repletos de plantas y secciones donde se han dibujado algunos rayos sonoros para explicar unos reflectores o alguna focalización. Al haber implementado una herramienta de "escaneo" en nuestro programa, podemos ahora entrar cualquiera de estos dibujos en el espacio de trabajo y, en unos pocos minutos, proceder a un análisis bastante fino del caso, obteniendo además unos gráficos de excelente calidad. Veamos, como ejemplo, una planta del Usher Hall⁸:



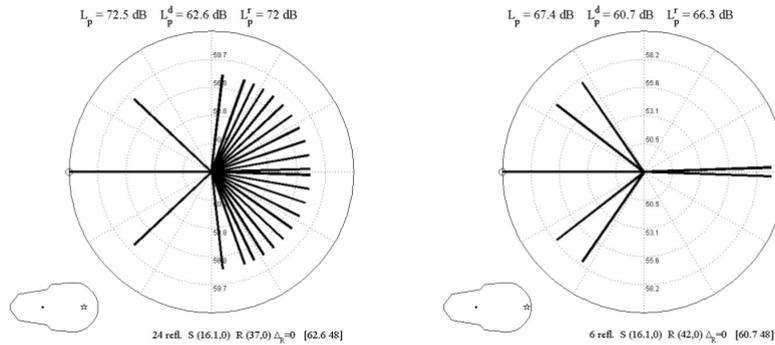
M. Baron describe, con esta ilustración, un caso de focalización causando, para los espectadores de ciertas ubicaciones (en la parte central del fondo de la sala, pero no todo al fondo), una desagradable sensación de pérdida de localización, ya que ciertos sonidos parecen venir desde más cerca que allá donde está el músico que los produce. Sin embargo, no se percibe un eco.

Con el programa, observamos claramente la focalización, y comprobamos que se mantiene, cual sea la posición de la

fuente:

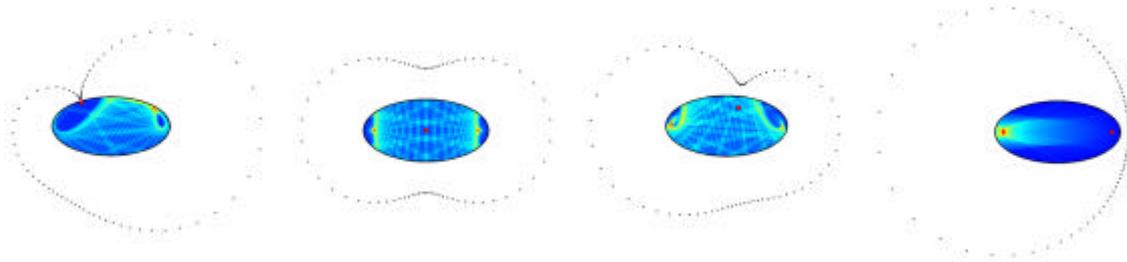


Con los diagramas polares, vemos que, en esta focalización, una energía reflejada muy importante, pero poco atrasada, viene del fondo, provocando la pérdida de localización, sin eco. En cambio, más al fondo, los espectadores se benefician de dos reflexiones adicionales desde el escenario, y la mayor parte del sonido viene de delante...



4. Las ortotómicas

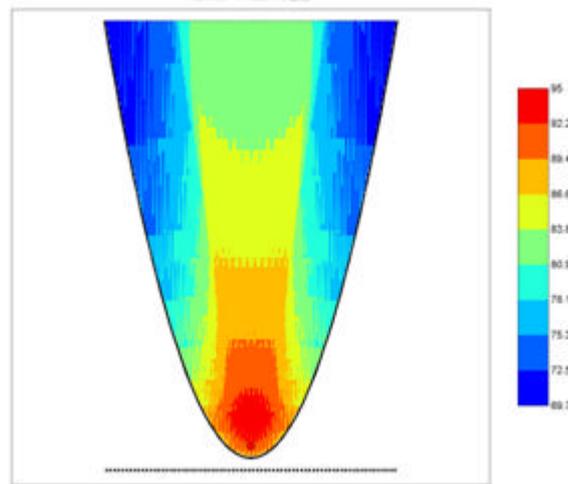
En las figuras anteriores, vemos como las fuentes-imágenes adoptan una amenazante disposición semi-circular, anunciando la focalización. Esta fue una sorpresa: muy a menudo, visualmente, es la configuración de las imágenes que mejor nos informa de lo que está pasando. Eso no pasa con las geometrías *discretas* (como, por ejemplo, una planta rectangular), donde las pocas imágenes, muy separadas, parecen moverse de una forma errática cuando desplazamos la fuente. Pero si el recinto presenta superficies curvas, las imágenes forman una curva también, continua: la *ortotómica*. El caso más conocido es el “caracol de Pascal”, que el padre del famoso filósofo describió ya en el siglo XVII: se trata de la ortotómica de la elipse, la cual se reduce a un simple círculo cuando la fuente ocupa uno de los focos de la elipse, como bien lo muestra nuestro programa:



La ortotómica de la parábola es también muy interesante. Cuando la fuente se halla en el foco de ésta, aquella se convierte en una recta: los rayos divergentes de la fuente se vuelven paralelos tras su reflexión, como bien lo saben los ópticos (lámparas PAR, focos de los coches,...) o los astrónomos (antenas parabólicas).

Sin embargo, hasta donde sabemos, nadie se ha interesado seriamente por la teoría de las ortotómicas en el campo de la acústica de salas.

Allí están sin embargo los fundamentos necesarios para el estudio de las focalizaciones y de las cáusticas, o de la difusión por superficies convexas.

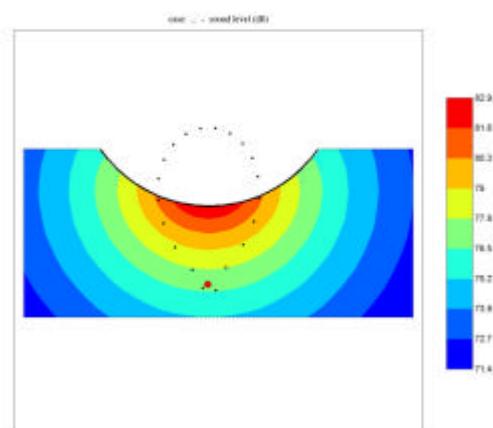
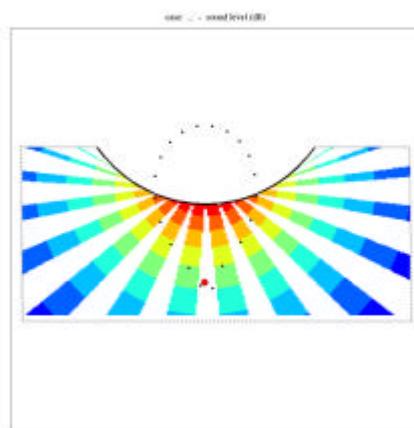
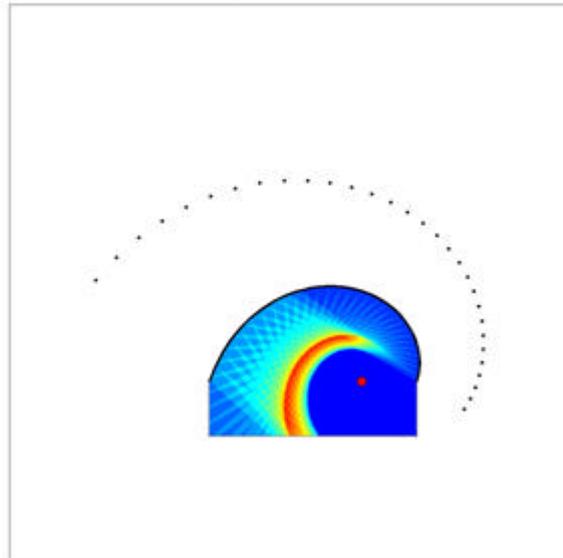


Mencionaremos un solo ejemplo, digno de atención, a pesar de que no lo podremos desarrollar aquí como se merece: el de la *espiral logarítmica*, cuya particularidad es de repetirse a sí misma en sus curvas acompañadoras (ortotómica y cáustica), y de reflejar la energía en una región determinada (lo cual no hacen nunca las cuádricas). Trabajada por tramos, permitiría diseñar reflectores con propiedades geométricas particularmente interesantes...

5. Curvas y fuentes imágenes

Acabamos de comprobar que el método de las fuentes-imágenes no sólo vale por su simplicidad (una vez resuelto el problema nada sencillo de la eliminación de las partes escondidas) y por su velocidad de cálculo (comparado con el trazado de rayos), sino que ofrece una información gráfica muy interesante en el caso de las superficies curvas.

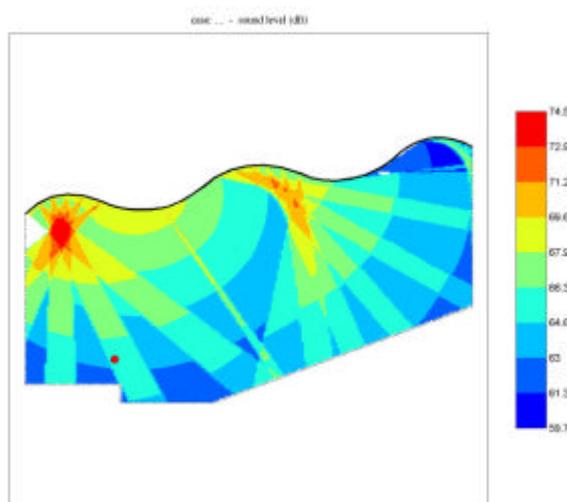
Sin embargo, impone una discretización de estas superficies, con los resultados visibles en la siguiente figura, a la izquierda: las reflexiones divergen, y esta divergencia se mantiene por muy fina que sea la discretización... Nuestro programa se impone luego una corrección del primer orden (figura de la derecha), que resuelve el problema con un ligero desplazamiento de las fuentes-imágenes y una adaptación de los valores energéticos, ya que, como bien lo muestra la figura de la izquierda (a su manera), las superficies convexas producen una disminución de la densidad energética.



El mismo problema se repite con las superficies cóncavas, cuyas reflexiones divergen más allá de la focalización. Aquí, la corrección del primer orden (no implementada en la versión actual del programa) es más complicada: implica definir unas fuentes-imágenes *reales*, dentro de la sala (por oposición a las *virtuales*, exteriores), que indican bien la especificidad de la situación acústica inducida. Al contrario de lo que reza una opinión muy difundida, las superficies cóncavas no se comportan a gran distancia como las convexas: su divergencia es diferente, se produce desde el interior del recinto.

A decir la verdad, los techos ondulados, a pesar de su banalidad, y a pesar de ser considerados por muchos arquitectos como específicamente “acústicos”, nunca han sido estudiados seriamente por la acústica geométrica...

En la figura aquí presentada, notamos perfectamente las diferentes formas de cáusticas producidas en las concavidades (la que se halla sobre el escenario produciría, en la realidad, un eco particularmente molesto), las correcciones del primer orden realizadas en las partes convexas y ausentes más allá de las focalizaciones producidas por las partes cóncavas...



6. Conclusión

El programa “Radit2d” está a libre disposición de todos los interesados. En su versión actual, se muestra particularmente útil para la enseñanza, para optimizar rápidamente soluciones geométricas sencillas, y por sus cuidadas representaciones gráficas, que pueden ser empleadas a todo fin, con una simple mención de sus autores.

Referencias:

¹ Por ejemplo: “Finite element approximation for low-frequency sound in a room with absorption”, E.R. Geddes and J.C. Porter, J. Acoust. Soc. Am., vol. 83, nº4, 1988.

² Por ejemplo: “Sound field distribution randomly traced sound ray techniques”, J.J. Embrechts, Acustica, vol. 51, pp. 288-295, 1982.

³ Por ejemplo: “piramidal beam tracing and time dependent radiosity”, U. Stephenson and U. Kristiansen, 15th International Congress on Acoustics, pp. 657-660, Trondheim, Norway, june 1995.

⁴ Por ejemplo: “Evaluation du champ sonore dans un local par la méthode des chemins acoustiques”, J.P. Gounet et G.H. Saurier, Revue d’Acoustique, nº65, pp. 113-120, 1983.

⁵ Así aconsejan aún proceder, por ejemplo, los autores del siguiente artículo: “Introducción a la acústica arquitectónica”, G. Roselló y J.M. Marzo, Tectónica 14, Madrid, 1995.

⁶ El programa **Radit2d** (“Room Acoustic Design by the Image Theory”), autores: Benoit Beckers & Luc Masset (Universidad de Liège, Bélgica), es disponible, con un manual detallado en castellano, en la página <http://upc.edu/aie> (soft), y es de libre utilización.

⁷ “Hacia una acústica para la arquitectura”, B. Beckers y R. Serra Florensa, en esta misma publicación.

⁸ Extraída, con su análisis de: “Auditorium acoustics and architectural design”, M. Barron, E&FN SPON, London, 1993.

⁹ Ver un estudio más detallado de esta curva, tanto para la luminotecnia como para la acústica, en: “Geometría sensible”, Benoit Beckers, Tesis doctoral, UPC, Barcelona, junio de 2005.