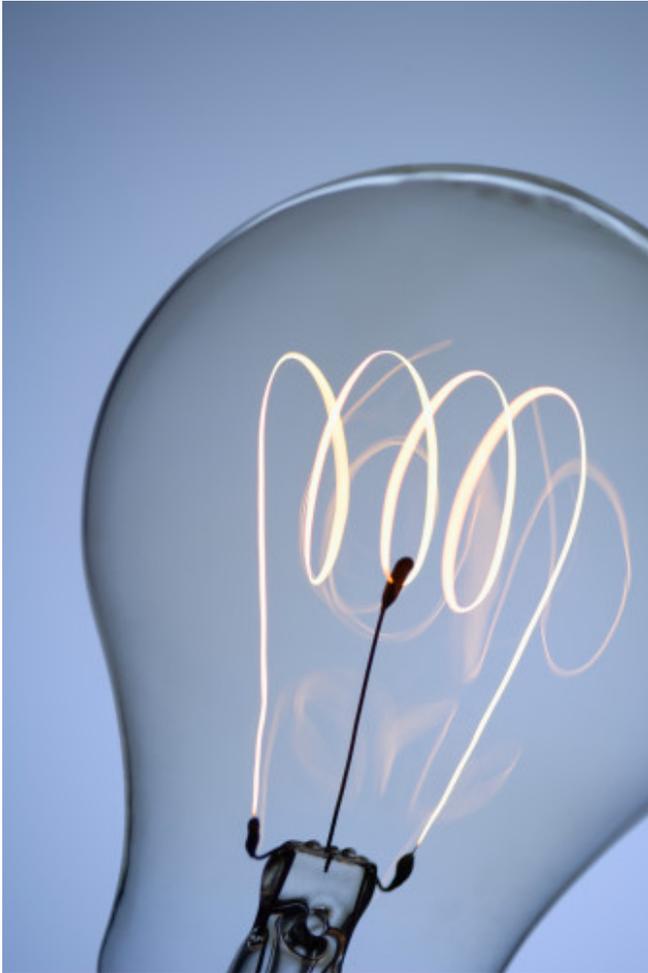


ILUMINACIÓN Y ACÚSTICA

Fuente: www.gettyimages.com



Macarena Durán, Rodrigo Gómez, Enrique Maass, Yolanda Muñoz

Arquitectura e Industria. Profesor Eduardo Lyon. Instructor Elizabeth Wagemann.
Pontificia Universidad Católica de Chile. Magister en Arquitectura. Julio 2009

primera parte ámbito académico

En diversas universidades y la Acústica, generalmente A continuación citamos del mundo se están realizando relacionando estos conceptos algunos ejemplos que se actualmente estudios con la sustentabilidad y el medio destacan. relacionados con la Iluminación ambiente.

Universidad de Stanford (1)

Esta universidad cuenta con un departamento de Civil and Environmental Engineering (CEE). En Stanford se crean relaciones para enfrentar los problemas mas urgentes y difíciles que enfrenta la humanidad para ser resueltos. Se categoriza en tres áreas: Built Environment; Atmosphere and Energy y Water Environment.

Architectural Design

Programa que se enfoca en tres áreas: Representación, Proceso y Sustentabilidad.

Este programa ofrece cursos como: Modeling Plus Analyses, que analiza un modelo a través de la tecnología desde varios puntos de vista como: simulaciones de luz del día, análisis energético y renderizado de imágenes.

Universidad de Berkeley (2)

El College of Environmental Design se especializa específicamente en diseño medioambiental. Aquí se ofrecen el Master of Science in Architecture y el PhD Architecture, cuyos programas tienen tres campos de desarrollo. En uno de esos campos, existe el área de Building Science and Technology.

Building Science and Technology

Estudia la calidad medioambiental de los edificios, y maneras de producir ambientes

agradables de una manera energéticamente eficiente. Los atributos medioambientales (térmicos, lumínicos, calidad del aire, acústicos) se estudian en dimensiones físicas y psicológicas. El objetivo de la investigación, involucra los procesos por los cuales un edificio afecta a sus usuarios, evaluando las consecuencias humanas, económicas y energéticas. Este conocimiento se incorpora a nuevos procedimientos de diseño, para edificios de mejor calidad.

Está dividida en las siguientes categorías:

Environmental requirements for occupant satisfaction

Salud, confort, y productividad. Se intenta lograr diseños de edificios que conserven la energía.

Design of climatically-adapted buildings

Diseño de edificios climatizados naturalmente, que conservan energía y puedan ayudar a preservar los patrones de habitabilidad. Se estudian y desarrollan métodos de diseño computarizado para ayudar situar el diseño en un equilibrio tangible.

New Technology

Nuevas tecnologías para mejorar la eficiencia energética y calidad de sistemas de control medioambiental en edificios: Calentamiento, ventilación, iluminación y nuevos sistemas que dan a los usuarios el control de su medio ambiente personal. Combina teoría, modelado y pruebas de laboratorio y terreno.

Las tres mayores áreas del CCE, y las relaciones e intersecciones temáticas.
Fuente: <http://cee.stanford.edu>

Descripción del curso Modeling Plus Analyses
Fuente: www.stanford.edu/dept/archdesign/coursesites.html

CEE 111 / 211: 3D Modeling Plus Analyses
T,TH 9:00 – 9:50 AM Wallenberg Learning Theater
F 9:00 – 11:50 AM Terman Computer Lab
Instructor: John Haymaker 3-4 units

Students learn how to build, visualize, and analyze 3D models through hands-on exercises, presentations from industry, lectures, and a final project. We'll explore technologies including laser scanning, parametric modeling, rendering, animation, 4D modeling, daylight simulation, energy analysis, cost estimating, structural analysis, and computer-controlled fabrication.
Prerequisite: some 3D Modeling experience.

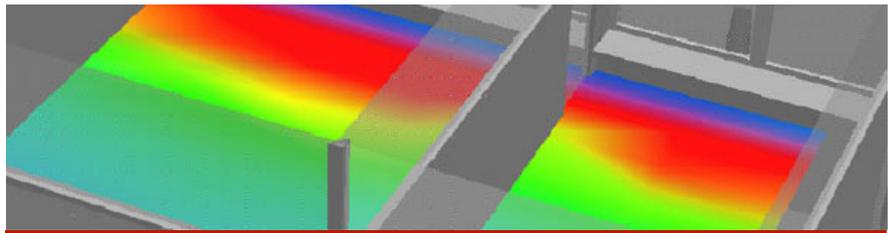
¹ STANFORD ENGINEERING. *Stanford Architectural Design Program*. [En línea] Julio 2009. Disponible en: <<http://www.stanford.edu/dept/archdesign/index.html>>

² UC BERKELEY ENVIRONMENTAL DESIGN. *PhD Architecture*. [en línea] Julio 2009. Disponible en:<<http://arch.ced.berkeley.edu>>

Harvard University (3)

Sustainable Design

Es parte del programa Master in Design Studies (MDesS). Se enfoca en estrategias de diseño y tecnologías empleadas en la creación de ambientes ecológicamente balanceados, confortables y eficientes energéticamente. Algunas áreas particulares de especialización son: iluminación, diseño de daylighting, simulaciones del desempeño del edificio (energía e iluminación), green building performance metrics, techos verdes, automatización, comportamiento y satisfacción del usuario, acústica, así como ciclo de vida y estudios de la energía.



Evaluación del desempeño medioambiental interior y eficiencia energética de un edificio. (MDesS, Harvard)

Fuente: <http://www.gsd.harvard.edu>

Su objetivo principal es emplear y desarrollar herramientas de simulación y evaluación del desempeño medioambiental interior y la eficiencia energética de los edificios. Se enfoca en el diagnóstico de cada caso, para saber cuándo usar las diferentes herramientas de evaluación.

Los cursos mínimos son: Day-Lighting Buildings, Building Performance Simulation-Energy, Sustainability and Independent Thesis.

Massachusetts Institute of Technology (MIT) (4)

Esta Universidad cuenta con el programa de posgrado de Building Technology.

Building Technology

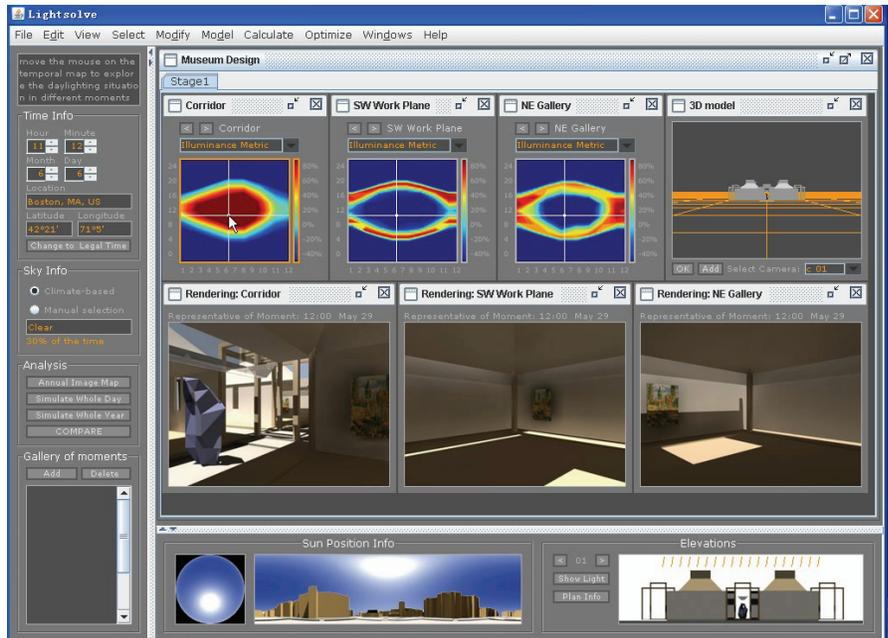
Es un programa interdisciplinario que incluye a los departamentos de Arquitectura, de Ingeniería Civil y Medioambiental, y de Ingeniería Mecánica.

Orientado a estudiantes con conocimientos de tecnología y con un grado en ingeniería, arquitectura o ciencias.

Está enfocado a la investigación en el desarrollo y aplicación de tecnología de avanzada para edificios de todo tipo. Se espera que cada estudiante sea parte de un proyecto de investigación, que pertenezca a una sección dentro de una investigación mayor que se esté desarrollando en la facultad.

Computer Graphics for Physical performance

Es una de las áreas de investigación. Se centra en el desarrollo de las técnicas de simulación de la iluminación y del espacio acústico. Dentro del programa, el Daylighting Lab (5) se enfoca en investigaciones para



Simulación a través de LightSolve de la incidencia de luz solar en un espacio interior. En DayLighting Lab de MIT.

Fuente: <http://daylighting.mit.edu/home.php>

incrementar el aprovechamiento de la luz natural, disminuyendo el consumo de electricidad, y mejorando el confort y bienestar.

Los proyectos actuales relacionan a los estudiantes con una variedad de soportes, incluyendo el desarrollo de herramientas de diseño experimentales para arquitectos (Automated and Portable heliodons) y de nuevos

instrumentos (Heliodome y Glazing and Shading Systems).

También se interesan en integrar eficientemente la luz día en herramientas de simulación computarizadas (Light Solve). Otros estudios y proyectos se relacionan con el desarrollo de nuevas medidas de luz día, nuevos sistemas de fachadas y ventanas, entre otros.

⁴ MASSACHUSSETS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *About Building Technology*. [en línea] Julio 2009. Disponible en: <http://scripts.mit.edu/~bt/home/?page_id=2>

⁵ BUILDING TECHNOLOGY PROGRAM, *MIT Daylighting Lab*, [en línea] Julio 2009. Disponible en: <<http://daylighting.mit.edu/home.php>>

Georgia Tech Institute (6)

Master of Science in Building Technology

Se enfoca en el desempeño de edificios en: transferencia del calor, acústica, iluminación, dinámica computarizada de fluidos, ciclo del vida y mantenimiento, construcción y estructuras. También explora las decisiones de diseño y procesos de trabajo, particularmente los relacionados con optimización, métodos de diseño basados en la simulación, y/o, diseños en colaboración.

Algunos cursos:

Environmental Systems and Design Integration II, Computational Fluid Dynamics / Building Ventilation, Simulation-based Design of Architecture, Performance Aspects of Building Systems Design, Computational Building Simulation, Model-based Design: Formulations and Analysis / Design Optimization, Seminar on Building Simulation, Introduction Architectural Acoustics, e-Business in Architecture, Engineering and Construction, Green Construction.

segunda parte

estado del arte de la especialidad

Introducción

La incorporación de herramientas digitales a la disciplina arquitectónica, a partir de mediados de los ochenta, permitió aumentar la velocidad de la producción: cada vez se podían hacer planos más rápidamente y corregir los errores con facilidad, mudando el dibujo del papel a la pantalla del computador (7).

En años posteriores, la industria de la construcción ha incorporado lentamente el concepto de la simulación computarizada como una herramienta potente para la evaluación de los proyectos de arquitectura. El modelado y simulación basados en computadores, se está volviendo cada vez más importante para la predicción del desempeño integral de un edificio (8).

La información basada en la simulación tiene el potencial de mejorar la competitividad, productividad, calidad y eficiencia en la construcción (9).

Simulación de la Iluminación

La iluminación, sea natural o artificial, es un aspecto importante a considerar en el proceso de diseño de un edificio. Los beneficios de una planificación adecuada de aprovechamiento de la luz de día, van desde un confort visual mejorado para los habitantes, hasta una reducción del consumo de luz artificial. Como la luz de día es extremadamente dinámica y no se puede almacenar, el concepto de la iluminación natural involucra la evaluación del desarrollo de la iluminación interior en etapas tempranas del diseño. Esto depende tanto del diseño del edificio, como de las condiciones climáticas, y pueden servir de base para (10):



Imagen creada usando el motor de renderizado LightWorks.

Fuente: <http://www.lightworkdesign.com>

- estimar el consumo de iluminación artificial en un edificio
- modelar futuras interacciones del concepto de iluminación natural junto con el sistema de HVAC (Calefacción, Ventilación, Aire Acondicionado), o
- predecir cómo la situación general de iluminación con luz de día puede ser percibida por los usuarios.

En el campo de la Simulación de la Iluminación, los arquitectos contamos con una gran cantidad de herramientas de software que nos permiten diseñar soluciones para los problemas de iluminación, tanto para luz natural como para la luz artificial.

⁶ GEORGIA TECH COLLEGE OF ARCHITECTURE. *Building Technology* [en línea] Julio 2009. Disponible en: <<http://www.coa.gatech.edu/btms/home.htm>>

⁷ PITTMAN, Jon. *Building Information Modeling: current challenges and future directions*. En: KOLAREVIC, Branko (editor). *Architecture in the Digital Age - Design and Manufacturing*. New York, Spon Press, 2003, pp. 255-258.

⁸ HENSEN, J.L.M. and NAKAHARA, N. *Building and Environmental Performance Simulation: Current State and Future Issues*. *Building and Environment*, vol. 36, n°6, Julio 2001.

⁹ HENSEN, J.L.M.; LAMBERTS, R. and NEGRO, C.O.R. *Building performance simulation at the start of the 3rd millennium*. *Building and Environment*, vol. 37, n°8-9, Agosto-Setiembre 2002, pp.765-767.

¹⁰ REINHART, Christoph F. y WALKENHORST, Oliver. *Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test office with external blinds*. *Energy and Buildings*, Vol.33, n°7, September 2001, pp.683-697.

Además es posible simular efectos de luz con precisión matemática, y producir visualizaciones foto-realistas muy convincentes; a la vez de generar las especificaciones y descripciones que aseguren una adecuada implementación de estos diseños (11).

En este ámbito es importante diferenciar dos tipos distintos de aplicaciones:

•**Motores de Renderizado.** Comprende herramientas que permiten “pintar con la luz” (12) simulando fielmente su comportamiento. Se basan en los principios físicos del comportamiento de la luz, y permiten generar vistas 3D y perspectivas con aplicación de diversos materiales y tipos de iluminación para emular la realidad.

•**Análisis Lumínico.** Comprende paquetes de software de análisis y diseño de la iluminación, que realizan cálculos matemáticos exactos de energía y eficiencia lumínica, con información fotométrica precisa. Se logra tener, para un proyecto, la misma información que se obtendría al evaluar la iluminación de un ambiente real, mediante un fotómetro (13).

Los Motores de Renderizado, utilizan diversos métodos para simular el comportamiento de la luz del modo más realista posible. El matizado más básico, es el plano, que elimina la visualización tridimensional de los objetos (una esfera con matizado plano, se verá como un círculo plano) (14).

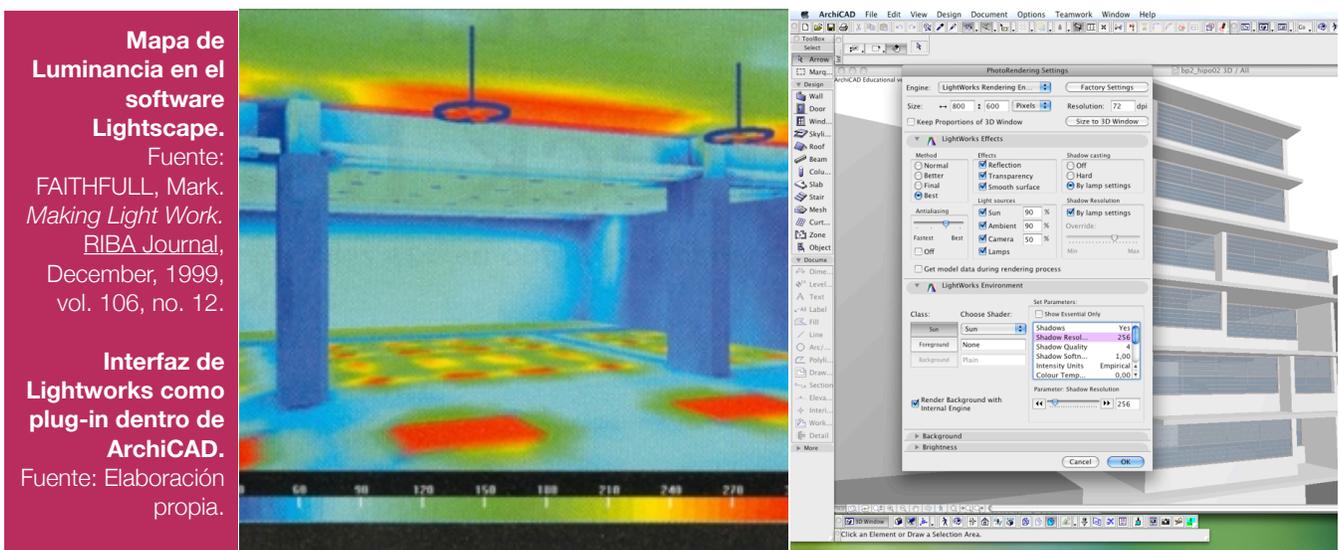
Para poder simular más fielmente la realidad, los motores de Renderizado utilizan principalmente dos métodos: ray-tracing y radiosity.

El ray-tracing consiste en trazar cada rayo de luz, en su trayectoria desde el ojo del observador hacia el objeto reflejante, y de regreso hacia la fuente de origen, calculando eficientemente la luz directa sobre superficies reflejantes. Pero este sistema no es bueno para calcular luz indirecta o la incidencia lumínica en las superficies mate. Además, ray-tracing depende del punto de vista del observador, por lo que al mover la escena, todos los valores deben ser calculados nuevamente.

Radiosity es el complemento de ray-tracing, ya que que calcula la luz directa e indirecta en superficies difusoras, incluyendo la luz que rebota de una superficie a la otra. Como este método modela el comportamiento de la luz independientemente del observador, los cálculos de radiosity para una escena o espacio puede ser fácilmente renderizados desde distintos puntos de vista sin la necesidad de re-calcular los valores de iluminación.

Estos dos métodos están incluidos en los motores de renderizado más usados por los arquitectos, como ArtLantis, Mental Ray o Lightworks.

Las herramientas de software de Análisis Lumínico, modelan el comportamiento físico de la luz y su interacción con superficies de distintas formas, texturas y colores. Para realizar este análisis, los procedimientos del software -o algoritmos- son aplicados a la geometría de un edificio o espacio interior, y calculan la energía lumínica que incide en una superficie proveniente de cualquier fuente de luz, ya sea el sol o un artefacto eléctrico.



¹¹ LAISERIN, Jerry. *Digital Architect: Software Resources for Lighting Design*. *Architectural Record*, May 2001, vol. 189, no. 5, pp. 281-282.

¹² FAITHFULL, Mark. *Making Light Work*. *RIBA Journal*, December, 1999, vol. 106, no. 12, pp.56-57.

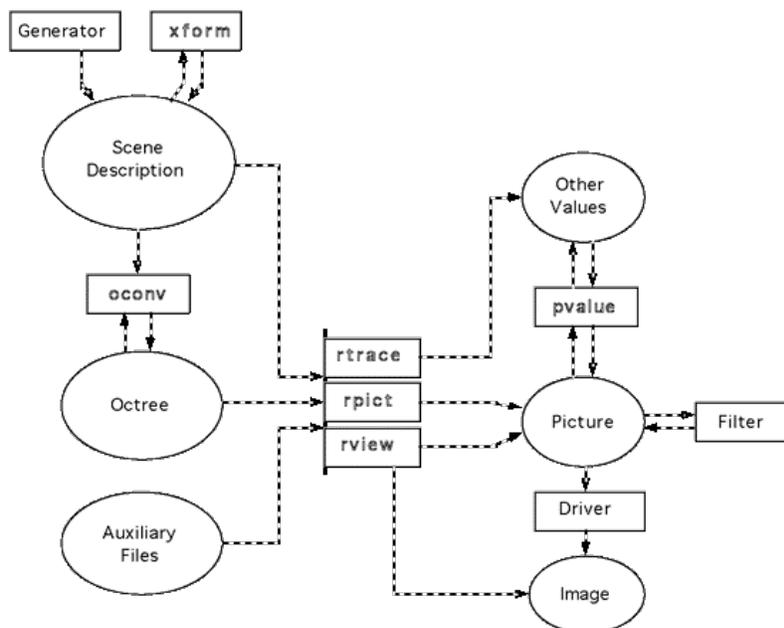
¹³ LAISERIN, Jerry. Op. Cit.

¹⁴ LAISERIN, Jerry. Op. Cit.

Si aumenta la cantidad de fuentes de luz, los cálculos se hacen más complejos, ya que varían los patrones de radiación lumínica. Éstos también cambiarán dependiendo de las características de los materiales sobre los que incide la luz. Una superficie pulida -pisos reflejantes, espejos- reflejará mayor cantidad de luz, mientras que las superficies mate -madera o ladrillo- actúan como difusores, reflejando cantidades mínimas de la luz que reciben. La energía lumínica total, incluye tanto la luz radiante proveniente de las distintas fuentes de luz, como la luz reflejada por otras superficies.

Con todas estas consideraciones, los resultados de estos cálculos suelen ser tablas muy complicadas, llenas de valores fotométricos correspondientes a cada objeto o material en la escena. Para hacer esta información más comprensible, los programas a menudo ofrecen visualizaciones integradas a un modelo CAD mediante gradientes de color donde los colores más cálidos corresponden a luces más brillantes (ver figura).

Uno de los softwares de Análisis Lumínico más reconocidos internacionalmente, es RADIANCE, desarrollado en el Programa de Tecnologías de la Edificación del laboratorio Lawrence Berkeley (LBL) (15). Consta de un set complejo de más de 100 rutinas separadas en el sistema operativo UNIX, para el análisis y visualización del diseño de iluminación. El ingreso de datos debe especificar la geometría de la escena, los materiales, las luminarias, la fecha y la hora así como las condiciones del cielo (para cálculos de luz natural) (16). Calcula valores como la radiación espectral (luminancia + color) la irradiación (iluminancia + color) y los índices de deslumbramiento. Los resultados pueden ser mostrados como imágenes con gradaciones a color, valores numéricos y gráficos de contorno. El software corre originalmente en



Software RADIANCE.

Diagrama que muestra el flujo entre los programas (cajas) y la información (óvalos). El programa central es **rpict**, que produce una imagen de la descripción de la escena. **Rview** es una variación de **rpict** que computa y muestra imágenes de modo interactivo, y **rtrace** computa los valores individuales de los rayos de luz.

Fuente: <http://radsite.lbl.gov/radiance/refer/ray.html>.

plataformas UNIX, y se maneja con comandos de programación, pero también tiene una versión para Windows, con interfaz gráfica, llamada Desktop Radiance.

Otro esfuerzo de proveer a RADIANCE de una interfaz gráfica es Rayfront (17). Este programa puede utilizarse en su versión independiente, así como en sus versiones de extensión de AutoCAD o IntelliCAD. Adeline también utiliza la base de RADIANCE y le agrega una interfaz gráfica.

Sin embargo, también existen paquetes de software que incluyen ambas formas de simulación. Es el caso de Lumen Micro, de Lighting Technologies, y AGI-32, de Lighting Analysts. Ambos pueden realizar análisis de diseño y de especificaciones, mediante una interfaz amigable que corre en Windows (18).

Simulación Acústica

Dentro de la simulación y evaluación del desempeño de los edificios, la simulación acústica se ha convertido en un aspecto fundamental, no solo en teatros o auditorios, sino en otros espacios, como aulas de clase, y ambientes industriales, para el control del ruido.

El rango de métodos para el cálculo acústico van desde soluciones numéricas de la ecuación de la onda, hasta métodos geométricos avanzados, equivalentes a los utilizados para la simulación de la iluminación (algoritmos de ray-tracing y radiosity) (19).

En un espacio, el sonido es absorbido debido a múltiples reflexiones durante su propagación.

¹⁵ REINHART, Christoph F. y WALKENHORST, Oliver. Op. Cit.

¹⁶ RADIANCE. *Radiance software description*. [En línea] Agosto 1997. Disponible en: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/>>

¹⁷ MISCHLER, Georg. *Rayfront Software*. [En línea] Disponible en: <<http://www.schorsch.com/rayfront/>>

¹⁸ LAISERIN, Jerry. Op. Cit.

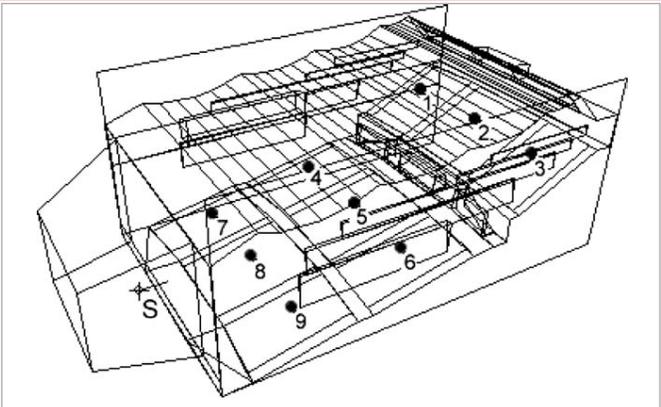
¹⁹ RABENSTEIN, Rudolf; SCHIPS, Oliver y STENGER, Alexander. *Acoustic Rendering of Buildings*. En: 5th International Conference on Building Simulation (Praga), Septiembre de 1997.

En cada sucesiva reflexión, los objetos que delimitan el espacio (muros y objetos que lo ocupan), absorben una fracción de la energía sonora, que depende de la frecuencia del sonido emitido, y la capacidad del material de absorber esta frecuencia (20).

Las propiedades acústicas y térmicas de los materiales, tienen comportamientos contradictorios. Las construcciones que proveen buena absorción acústica, usualmente tienen una baja inercia térmica y viceversa. Por eso es importante encontrar un balance entre estos aspectos, para poder obtener edificios con un buen desempeño global (21).

En ese sentido, el software ESP-r integra el desempeño térmico y acústico para la evaluación de edificios, entre otros aspectos. Es capaz de modelar flujos de energía y fluidos en combinación con sistemas de plantas y edificios (22).

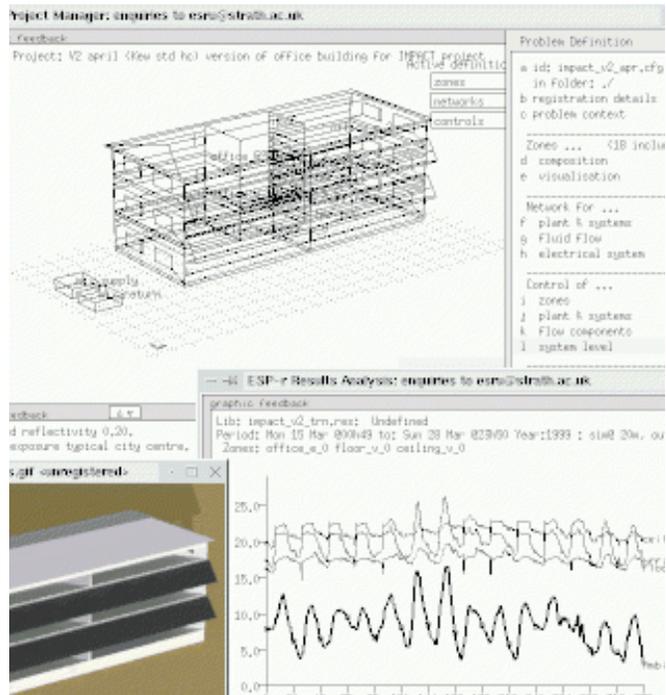
Dibujo de una sala de conciertos, con la ubicación de las fuentes de sonido y los oyentes (receptores)
 Fuente: SAN MARTÍN, Ricardo y ARANA, Miguel. *Predicted and experimental results of acoustic parameters in the new Symphony Hall in Pamplona, Spain*. *Applied Acoustics*, nº67, 2006, pp. 1-14.



En el campo de la acústica, ESP-r permite hacer cálculos del tiempo de reverberación (23), incorporando toda la información correspondiente al ambiente a evaluar: atributos de la zona (volumen, piso, área, absorción del aire, temperatura, humedad), atributos de superficies (nombre, composición, coeficiente de absorción y área), atributos de ocupación (ocupantes, mobiliario). Se puede elegir el método de cálculo y el formato de salida de los resultados (24).

La necesidad de simular el desempeño acústico en diversos tipos de ambientes, es un problema fundamental para la disciplina. Dada la irregularidad de los ambientes, la difusión del sonido puede ser heterogénea, y su absorción puede estar distribuida de forma muy variada en las distintas superficies. Todo esto significa que el tiempo de reverberación no puede ser calculado de modo tradicional (25). Una solución eficiente para este problema, usando un modelo computarizado, es el cálculo de decaimiento global, mediante trazado de partículas, implementado en el software ODEON (26).

Un ejemplo típico de este caso, son las aulas de clase, ya que su geometría simple supone una dificultad para la eficiencia acústica: muros paralelos, techos bajos y una distribución dispareja de la absorción (27).



Interfaz del software ESP-r
 Fuente: http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/software.cfm/ID=39/pagename=alpha_list

²⁰ CITHERLET, Stéphane y MACDONALD, Iain. *Integrated assessment of thermal performance and room acoustics*. *Energy and Buildings*, 2003, nº35, pp.249-255.

²¹ CITHERLET, Stéphane y MACDONALD, Iain. Op. Cit.

²² CITHERLET, S. y HAND, J. *Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program*. *Building and Environment* v.37, nº 8-9, Septiembre 2002.

²³ Se define el tiempo de reverberación como el tiempo necesario para que la intensidad de un sonido disminuya a la millonésima parte de su valor inicial o, lo que es lo mismo, que el nivel de intensidad acústica disminuya 60 decibelios por debajo del valor inicial del sonido. Fuente: <http://www.ehu.es/acustica/espanol/salas/tires/tires.html>

²⁴ CITHERLET, Stéphane y MACDONALD, Iain. Op. Cit.

²⁵ Las Ecuaciones de Sabine y Eyring han sido utilizadas históricamente para predecir el tiempo de reverberación. Fuente: BERANEK, Leo L. *Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption*. *Journal of the Acoustic Society of America*, Vol. 120, Nº3, Septiembre 2006.

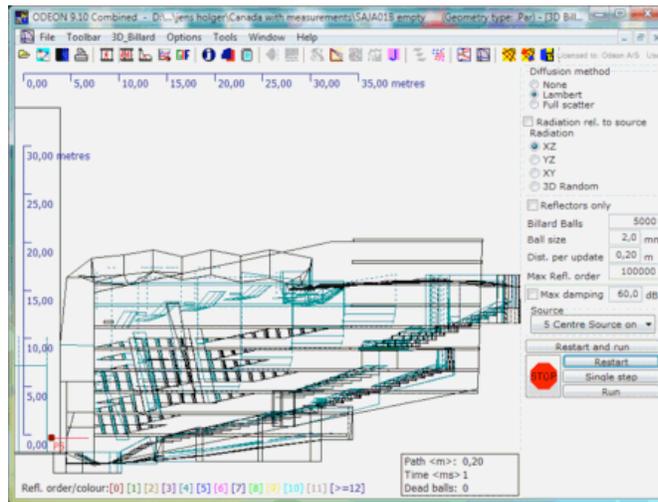
²⁶ RINDEL, Jens Holger y CHRISTENSEN, Claus Lyngge. *Odeon, a design tool for noise control in indoor environments*. [En línea] Disponible en: <http://www.odeon.dk>

²⁷ CHRISTENSEN, Claus Lyngge y RINDEL, Jens Holger. *Predicting Acoustics in Class Rooms*. [En línea] 2005. Disponible en: <http://www.odeon.dk>

La explicación al problema puede residir en la forma de implementar la reflexión en los modelos actuales, confiando en los coeficientes de absorción para describir la dispersión de la superficie (aspereza del material) así como la difracción. ODEON también incorpora un nuevo método para modelar la dispersión, combinando sus componentes separados. Las evaluaciones iniciales indican que los coeficientes de dispersión usados en este método, son compatibles con aquellos obtenidos a con mediciones. Adicionalmente, este método ofrece mejor compatibilidad con los modelos CAD de los arquitectos (28).

En otro ámbito, la auralización (Modificación del sonido para que adopte las características acústicas de un espacio determinado, como una sala de conciertos) (29) también está siendo objeto de innovaciones.

La técnica de auralización de fuente múltiple se basa en grabaciones sin eco de cada instrumento individual en la orquesta sinfónica. Esta técnica



Interfaz del software ODEON
Fuente: www.odeon.dk

logra un mayor realismo en términos de localización y ancho aparente de la fuente, y permite comparar distintas disposiciones de la orquesta, así como la interacción entre los instrumentos y la sala. Esta técnica es aplicada por ODEON, permitiendo el uso de la auralización como una herramienta de diseño de salas de concierto, sobretodo al evaluar las posiciones de los oyentes que no están al frente de la orquesta (30).

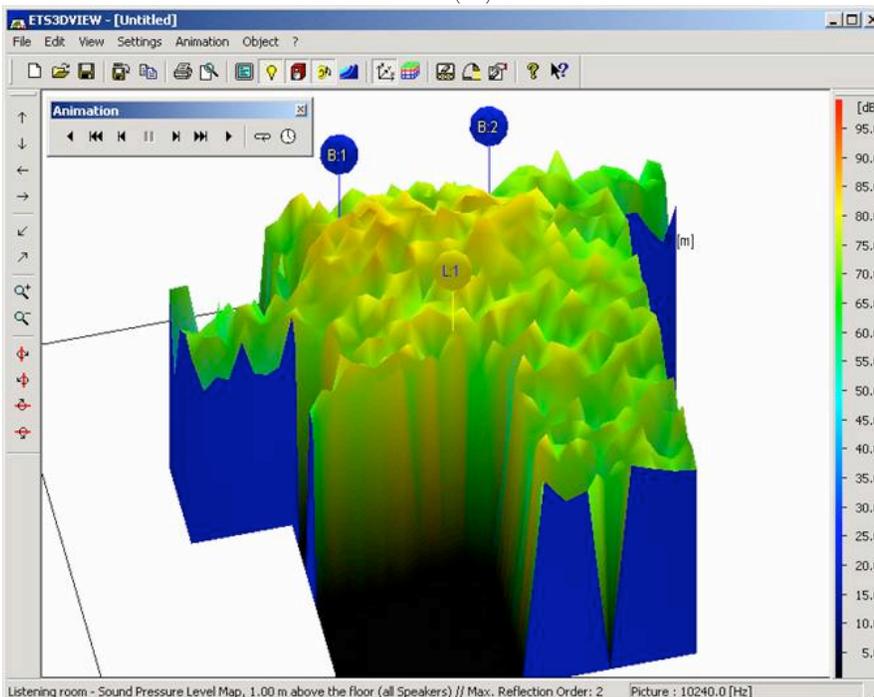
Los resultados de estas evaluaciones pueden ser expresados mediante datos numéricos en tablas, y también como simulaciones auditivas: un archivo de sonido que permite escuchar cómo sería el comportamiento acústico del ambiente simulado.

Por otro lado, el software CARA incorpora otros aspectos a la simulación acústica: CARA optimiza automáticamente la posición del altavoz y los espacios de audición, mejorando la coloración del sonido. CARA se basa en un método de toma de imágenes de la fuente de sonido, en combinación con un procedimiento de backtracing. (31)

Permite obtener un gran número de referentes numéricos de la acústica del espacio derivado de la frecuencia de respuesta a la presión del sonido, o diagramas de respuesta/reverberación de espacios transitorios:

- Frecuencia del tiempo de reverberación dependiente.
- Coloración del sonido
- Inteligibilidad del habla.
- Nivel del sonido lateral
- Localización del sonido estereofónico.

Los cálculos referidos a los altavoces, incorporan una base de datos de distintos tipos de altavoces disponibles en el mercado.



Interfaz del software CARA

Fuente: <http://www.positive-feedback.com/Issue8/cara.htm>

²⁸ CHRISTENSEN, Claus Lynge y RINDEL, Jens Holger. *Predicting Acoustics in Class Rooms*. Op. Cit.

²⁹ Definición de Auralización. Fuente: <http://www.infovis.net/printMag.php?num=37&lang=1>

³⁰ RINDEL, Jens Holger y CHRISTENSEN, Claus Lynge. *Auralisation of concert halls using multi-source representation of a symphony orchestra*. [En línea] 2008, Disponible en: <http://www.odeon.dk>

³¹ RHINTEK INC. *CARA 2,1 Software. Computer Aided Room Acoustics*. [En línea] 2009. Disponible en: <http://www.rhintek.com/cara/cara21desc.php>

tercera parte

presentación de softwares

Los softwares escogidos fueron seleccionados básicamente por su versatilidad, adaptabilidad con otras plataformas y grado de utilización en el medio. En el tema de la simulación de la iluminación fueron escogidos Lightworks y Mental Ray. Por otra parte, en el área acústica fue escogido Odeon.

Software Motor de Renderizado

Mental Ray

Este software fue escogido por su gran potencia y versatilidad. Tiene una gran capacidad como motor de renderizado, sus preferencias le permiten trabajar en sistemas de muy bajos recursos de memoria y procesador o aprovechar al máximo un sistema de alta capacidad. Sin embargo su principal ventaja, es su adaptabilidad a otros softwares: viene en varias versiones, algunas incorporadas dentro de poderosos software de modelado y diseño, como Autodesk REVIT, Autodesk 3d Studio Max y CATIA.

Mental Ray es un software desarrollado por la empresa Mental Images(con sede en Berlín, desde 1986). Desde el año 2007 que es propiedad de una filial de NVIDIA, un conocido fabricante de hardware gráfico (32).

Este software se posee tecnología de renderizado y modelamiento en 3d para el diseño

asistido por computadoras. Puede ser utilizado para una variedad de aplicaciones. Algunas de ellas son: Visualización CAD, efectos visuales, animación, creación de videojuegos, diseño arquitectónico, diseño de iluminación y visualización general (33).

Arquitectura del Software

La arquitectura de mental ray (arquitectura dataflow) está fundada en una base de datos de renderizado y de red transparente. El computador procesará los datos, solamente cuando lo necesite, ahorrando tiempo y recursos. Esto supone un uso más eficiente de la memoria, lo que permite a mental ray procesar escenas de gran complejidad, incluso en máquinas con poca memoria (34).

Métodos de Renderizado

Ray-Tracing: Este sistema de renderizado de trazado de rayos permite la implementación flexible de cualquier fenómeno efecto de iluminación imaginable, incluyendo reflexiones, refracciones, iluminación global o dispersión de sub-superficies.

Radiosity: Es una buena opción para lograr resultados de una calidad intermedia con una fracción del tiempo y recurso (35).

Rasterizador: Un rasterizador está disponible para cuando se busca eficiencia y renderizado directo, de un click, para objetos directamente visibles y/o transparentes.

Global Illumination: (iluminación global - G.I.) es la simulación de todas los efectos de inter-reflexiones en una escena. Esto incluye la iluminación indirecta causada por luz dispersa, y efectos como “caustics” o “color bleeding”, que es el tinte de color de luz reflejada sobre una superficie. Estos efectos son sutiles pero esenciales para lograr el foto-realismo. Mental ray ofrece dos acercamientos fundamentales para lograr la iluminación global que pueden usarse de forma simultánea. Se diferencian en la forma en que la información de iluminación es seguida por la escena, ya sea comenzando por la fuente de luz (photon mapping) o comenzando desde el ojo (final gathering) (36).

Imagen
renderizada con
motor Mental
Ray en Revit
2009.
Fuente:
Elaboración
propia.



³² MENTAL IMAGES. *Company Profile*. [en línea]. Disponible en: <http://www.mentalimages.com/fileadmin/user_upload/PDF/about-mental-images.pdf>

³³ MENTAL IMAGES. *Mental Ray Funtinal Overview- White Paper. Version 1.5*, Junio 2007. [en línea]. Disponible en: <http://www.mentalimages.com/fileadmin/user_upload/PDF/mental_ray_Functional_Overview.pdf>

³⁴ MENTAL IMAGES. Op. Cit.

³⁵ LAISERIN, Jerry. Op. Cit.

³⁶ MENTAL IMAGES. Op. Cit.

Renderizado y Hardware

Hoy en día las GPU's (Unidad de procesamiento gráfico) modernas pueden ejecutar programas complejos que computan los colores de cada pixel matizado, mental ray utiliza este poder para acelerar el renderizado de alta calidad. Muchos elementos pueden ser renderizados completamente en el hardware y son combinados automáticamente con los elementos que deben ser renderizados con software. Mental ray hoy en día explota el lenguaje avanzado de matizado Cg de NVIDIA [Cg] y utiliza OpenGL para intercambiar datos con la tarjeta gráfica.

La interacción entre el hardware y software posible con la asociación de Mental Images y NVIDIA hace posible una mejor eficiencia entre la comunicación de ambos elementos logrando resultados mejores y mas eficientes.

Perfiles de Luz

Mental ray soporta perfiles de iluminación IES (internacional) y Eulumdat (europeo). Estos perfiles están disponibles gracias a los fabricantes de luminarias y describen de forma precisa cuánta luz es emitida en que dirección. Esto captura las propiedades físicas de

fuentes de luz complejas y permite resultados precisos de renderizado de la iluminación resultante en escenas sintéticas.

Niveles de Integración

Mental ray puede ser integrado con contenido de creación digital y herramientas de ingeniería en tres maneras distintas, ofreciendo distintos niveles de interacción y estrechez:

1.- Esta disponible en una versión como una biblioteca en C++ para permitir su integración directa con la aplicación. Esta es la integración mas estrecha posible con una aplicación.

2.- Una aplicación de traducción que puede ser provista para que lea los datos del sistema de creación de contenido y lo pase a la base de datos de la biblioteca de mental ray.

3.- Un plugin de traducción exporta la escena en formato de imágenes de mental (.mi), la que es renderizada utilizando la versión "stand-alone" (que puede ser utilizada de forma independiente a otros programas) de mental ray. Este método es a veces más eficiente que los otros dos, ya que no hay datos de aplicaciones que deban ser cargados en la memoria, lo que permite que más memoria esté disponible para renderizar (37).

Software de Análisis Lumínico + Motor de Renderizado

Lightworks

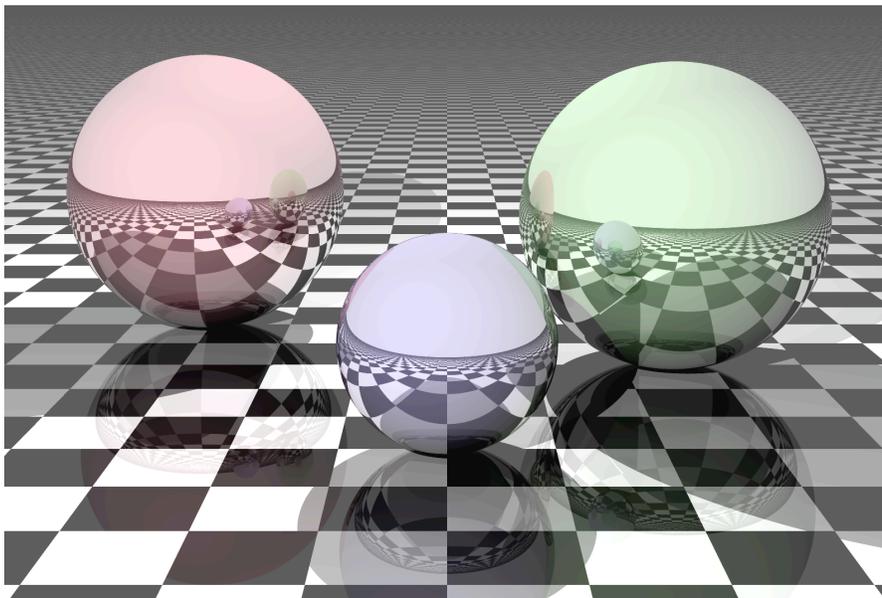
Lightworks resulta como un segundo candidato debido a su versatilidad, eficiencia de renderizado y calidad. Una de sus principales ventajas es que ofrece un pack de utilidades separadas según requerimientos, lo que lo hace sumamente eficiente. Tiene una edición Studio (standalone) y también está disponible como plugin en otros softwares de modelado, como Archicad. Lightworks es propiedad de Lightwork Design (38).

Características de Lightworks

Lightworks es un paquete de productos amigable, cada roducto se enfoca en un área específica de funcionalidad del renderizado. Lightworks ha sido diseñado para permitir la creación de un amplio rango de soluciones de renderizado para todo tipo de mercados y aplicaciones. Esta estructura permite que los usuarios puedan seleccionar el set de productos que satisface las necesidades exactas de su mercado. La estructura modular del software, le da a los usuarios la capacidad de introducir fácilmente funcionalidades adicionales a sus aplicaciones, cuando lo necesiten (39).

Lightworks también incluye un modelo de iluminación basado en la física, apoyado por fuentes de luz avanzadas, de tipo área y goniométricas; y un rango de técnicas de iluminación globales. El software hace uso híbrido de los algoritmos scan-line y ray-trace, y de técnicas como anti-aliasing analítico y la Regeneración Interactiva de Imágenes (IIR).

Este motor de renderizado puede ser hasta 100 veces más rápido que un motor de renderizado convencional, debido a los materiales y actualizaciones de iluminación. Lightworks también ha desarrollado sus propias imágenes de Alto Rango Dinámico (HDR), brindando a nuestros clientes tanto iluminación de imágenes como creación de escenas (40).



Método de Ray-Tracing

Fuente: <http://www.math.tu-berlin.de/~sechel/pics/raytrace01.png>

³⁷ MENTAL IMAGES. Op. Cit.

³⁸ LIGHTWORK DESIGN. *Lightworks Software*. [En línea] 2009. Disponible en: <www.lightworkdesign.com>

³⁹ LIGHTWORK DESIGN. Op. Cit.

⁴⁰ LIGHTWORK DESIGN. Op. Cit.

Imagen creada usando el motor de renderizado LightWorks.

Fuente: <http://www.lightworkdesign.com>



Plataformas soportadas

Windows: NT, 2000, XP, XP64, Vista, Vista64

Mac: OSX, Universal Binaries

UNIX: HP, IBM, Sun, GNU Linux

Características Básicas

El uso de Radiosity, Global Illumination, Ambient Occlusion, Final Gather y Ray-tracing le da a Lightworks uno de los más amplio rango de funcionalidades disponibles.

Última Versión (41)

Las principales características de Lightworks 8,0 incluyen :

Renderizado Progresivo. Esta funcionalidad provee un buen desempeño en el flujo de trabajo de la aplicación de renderizado. El renderizado progresivo provee feedback inmediato de la imagen final (a diferencia de OpenGL), con una rápida vista previa de la luz y materiales en la escena (con capacidad de incluir Final Gather, Ambient Occlusion y Radiosity) lo que significa menos iteraciones para llegar a la imagen deseada.

Tone Mapping (Mapeo de tonos). Ha sido optimizado y desarrollado para incluir un nuevo balance de blancos, que permite una representación verdadera de los colores, para que sean más fieles a la escena original.

Matizadores de reflectancia compleja. Lightworks ha agregado nuevos matizadores adicionales a esta versión, que intenta proveer a los usuarios la capacidad de crear un rango más amplio de efectos realistas.

Lightworks Studio Edition, SE (42)

Es el suite propio de Lightworks, su versión standalone. Esta versión provee de una interfaz bastante sencilla sin sacrificar la capacidad de renderizado. Lightworks SE usa

paquetes de soluciones pre-configuradas para obtener renderizados de buen resultado sin requerimientos de configuración. El usuario simplemente puede usar perfiles predeterminados. Los estilos de renderizado también proveen la suficiente flexibilidad para permitir a los usuarios personalizar sus escenas de modo rápido y fácil, disminuyendo drásticamente el tiempo de trabajo (43).

Softwares de Análisis Acústico

ODEON

Odeon fue escogido como el software de análisis acústico, por ser un software de gran precisión en sus cálculos con variados métodos de cálculo y formas de predecir el control de ruido. Tiene la capacidad de simular los resultados de sonido mediante un archivo de audio. Además incluye dos módulos de software distintos que son aplicados según sea el caso a analizar: teatros y auditorios o ambientes industriales para el control del ruido. La Compañía Odeon se estableció en Dinamarca el año 1984. Su software Odeon fue utilizado por Arup para analizar la acústica de la Opera de Oslo (44).

Aplicaciones

- Salas de Concierto y Opera, teatros, iglesias.
- Foyers, restaurantes, estudios de música
- Estaciones de metro y terminales de aeropuerto
- Ambientes industrial y exteriores de geometrías complejas

Ediciones de Odeon

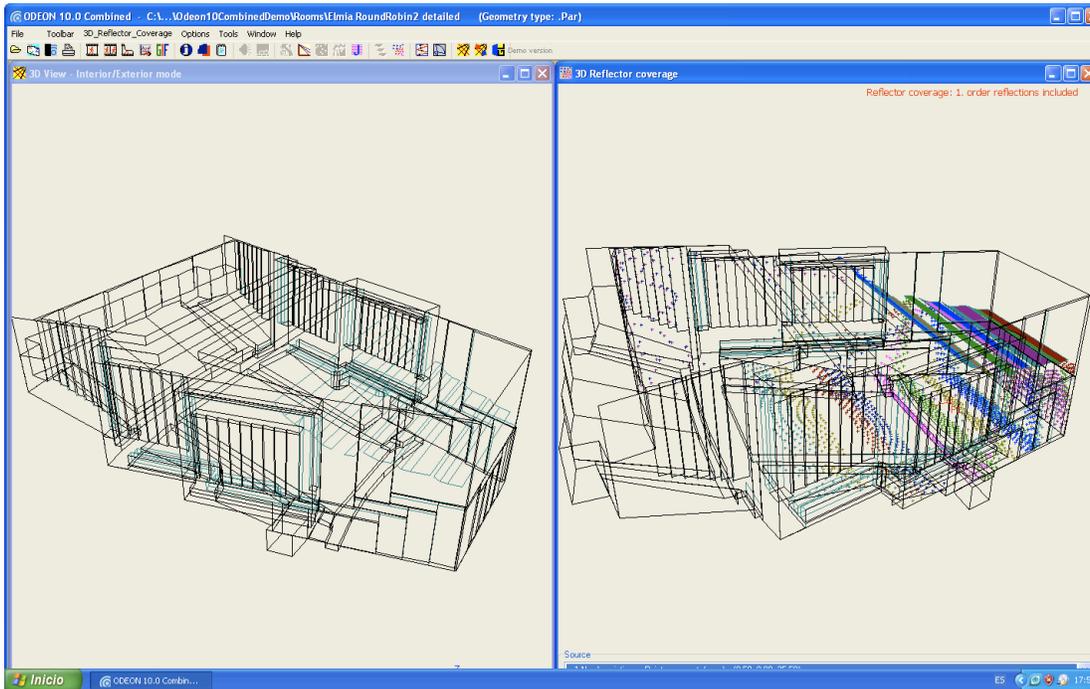
La edición industrial para acústica ambiental. Permite el modelado de fuentes de puntos, líneas y superficies, con la posibilidad de modelar fuentes de sonido grandes y complejas.

⁴¹ LIGHTWORK DESIGN. Op. Cit.

⁴² LIGHTWORK DESIGN. Op. Cit.

⁴³ LIGHTWORK DESIGN. Op. Cit.

⁴⁴ ODEON. *Acoustics Simulation Software*. [En línea] 2009. Disponible en: <<http://www.odeon.dk>>



Interfaz del software ODEON
Fuente:
Elaboración propia.

La edición de Auditorio que incluye un gran repertorio de parámetros acústicos para salones basados en curvas de reverberancia. Tiene, además, una variedad de herramientas gráficas y de auralización. La edición combinada incluye todos los aspectos disponibles en ambas versiones.

Algoritmos de Cálculo

El método de reflejo híbrido es una combinación de los métodos de fuente de imagen, raytracing y radiosity. Los reflejos tempranos son definidos por radiosity. Los reflejos tardíos son definidos por un método especial mixto de raytracing y radiosity (45).

Un coeficiente de dispersión basado en los reflejos se asegura que la dispersión dependa de la rugosidad de las superficies, definida tanto por la rugosidad misma como por la frecuencia, el tamaño de la superficie y la distancia entre el emisor, receptor y superficie. Odeon maneja técnicas de dispersión basada en vectores y en dispersión oblicua de Lambert.

Herramientas de Modelado

•*Editor Odeon*: editor de texto que soporta modelado paramétrico.

•*Facilidades de Importación*: Importa archivos DXF (Drawing Exchange

Format) y formato .3ds de software de CAD como: AutoCAD®, Microstation®, 3DS max, IntelliCAD®, Google-Sketchup y Rhinoceros (46).

•*Verificación de Geometría*: Chequeo automático de superficies torcidas o traslapadas. Raytracing de 3D para encontrar orificios en la geometría.

•*Herramientas de Parchado*: Cualquier superficie que haga falta puede ser creada en vista 3D.

•*Herramientas de modelado de extrusión* para modelar geometrías como espacios industriales de trabajo y oficinas.

Materiales

Odeon permite proporcionarle a los materiales de las superficies distintos coeficientes de absorción y dispersión acústica permitiendo realizar cálculos fidedignos.

Parlantes

Integración de parlantes de formato CLF (Common Loudspeaker Format).

Resultados

Los resultados pueden ser calculados utilizando varios métodos. El método de estimado rápido, para calcular tiempos de reverberancia rápidos. El método de estimado global, que considera la forma de la sala,

posición de superficies de absorción y emisores.

Impresiones, Gráficos y Exportación

Los gráficos y tablas pueden ser exportada vía portapapeles y pueden ser exportadas en varios formatos. (.wmf, .emf, .bmp, .gif, .jpg, .pcx, .png), o también pueden ser impresas. Los resultados, incluyendo los parámetros, datos de reflejos, curvas, etc., pueden ser esportadas en formato ASCII (texto) para procesamiento posterior en otros programas.

Odeon exporta animaciones GIF de cualquier ventana del programa, pueden hacerse capturas de pantalla individuales y secuenciadas. Un editor de animaciones viene incluido con el programa.

⁴⁵ ODEON. Op. Cit.

⁴⁶ ODEON. Op. Cit.

tercera parte

matriz de relaciones

aplicación	versión	especialidad	posix?	Windows?	otra?	open source	idioma	BIM	IFC	DXF	import	export
revit (mental ray)	2009	AEC	no	si	no	propietario	inglés	si	si	si	dwg, dxf, dgn, sat, skp	dwg, dxf, dgn, sat
navisworks (lightworks)	2009	iluminación	no	si	Mac OS (plug in de Archicad)	propietario	inglés	si	si	si	xml psd, 3ds, dwg, dxf, sat, dri, txt, microstation, dwf, ifc, iges, inventor, faro, man, leica, 3dd, rvm, skp, step, stl, vrml, zfc	jpg, bmp, tif, targa, lwi, hdr, png, avi, kml, html
odeon	10	acústica	no	si	no	propietario	inglés	si	no	si	dxf, 3ds, dwg, sur, par	vrml, catt, dxf

referencias bibliográficas

BERANEK, Leo L. *Analysis of Sabine and Eyring equations and their application to concert hall audience and chair absorption.* Journal of the Acoustic Society of America, Vol. 120, N°3, Septiembre 2006.

BUILDING TECHNOLOGY PROGRAM, *MIT Daylighting Lab*, [en línea] Julio 2009. Disponible en: <<http://daylighting.mit.edu/home.php>>

CITHERLET, S. y HAND, J. *Assessing energy, lighting, room acoustics, occupant comfort and environmental impacts performance of building with a single simulation program.* Building and Environment v.37, n° 8-9, Septiembre 2002.

CITHERLET, Stéphane y MACDONALD, Iain. *Integrated assessment of thermal performance and room acoustics.* Energy and Buildings, 2003, n°35, pp.249-255.

CLARKE, J.A. *Domain Integration in building simulation.* Energy and Buildings.v.33, n°4, Abril 2001.

CRAWLEY, Drury, HAND, John, KUMMERT, Michael. y GRIFFITH, *Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs.* Building and Environment, vol. 43, n°4, Abril 2008.

CHRISTENSEN, Claus Lyngé; NIELSEN, Gry Boelum y RINDEL, Jens Holger. *Danish Acoustical Society Round robin on room acoustic computer modelling.* [En línea] 2008, Disponible en: <<http://www.odeon.dk>>

CHRISTENSEN, Claus Lyngé y RINDEL, Jens Holger. *Predicting Acoustics in Class Rooms.* [En línea] 2005. Disponible en: <<http://www.odeon.dk>>

FAITHFULL, Mark. *Making Light Work.* RIBA Journal, December, 1999, vol. 106, no. 12, pp.56-57.

GALASIU, Anca D. y ATIF, Morad R. *Applicability of daylighting computer modeling in real case studies: comparison between measured and simulated daylight availability and lighting consumption.* Building and Environment, vol. 37, n° 4, Abril 2002, pp.363-37.

GEORGIA TECH COLLEGE OF ARCHITECTURE. *Building Technology* [en línea] Julio 2009. Disponible en: <<http://www.coa.gatech.edu/btms/home.htm>>

HENSEN, J.L.M. and NAKAHARA, N. *Building and Environmental Performance Simulation: Current State and Future Issues.* Building and Environment, vol. 36, n°6, Julio 2001.

HENSEN, J.L.M.; LAMBERTS, R. and NEGRAO, C.O.R. *Building performance simulation at the start of the 3rd millennium.* Building and Environment, vol. 37, n°8-9, Agosto-Setiembre 2002, pp.765-767.

LAISERIN, Jerry. *Digital Architect: Software Resources for Lighting Design.* Architectural Record, May 2001, vol. 189, no. 5, pp. 281-282.

LIGHTWORK DESIGN. *Lightworks Software.* [En línea] 2009. Disponible en: <www.lightworkdesign.com>

MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. *About Building Technology.* [en línea] Julio 2009. Disponible en: <http://scripts.mit.edu/~bt/home/?page_id=2>

MENTAL IMAGES. *Mental Ray Funtinal Overview- White Paper. Version 1.5*, Junio 2007. [en línea]. Disponible en: <http://www.mentalimages.com/fileadmin/user_upload/PDF/mental_ray_Functional_Overview.pdf>

MISCHLER, Georg. *Rayfront Software.* [En línea] Disponible en: <<http://www.schorsch.com/rayfront/>>

NOVITSKI, B. J. *Architecture Lighting Technology Portfolio.* Architecture, June, 1992, vol. 81, no. 6, pp. 103-123.

ODEON. *Acoustics Simulation Software.* [En línea] 2009. Disponible en: <<http://www.odeon.dk>>

PACEY, Stephen. *How does that Sound?.* RIBA Journal, 02, 2000, vol. 107, no. 2, pp. 70.

RABENSTEIN, Rudolf; SCHIPS, Oliver y STENGER, Alexander. *Acoustic Rendering of Buildings.* En: 5th International Conference on Building Simulation (Praga), Septiembre de 1997.

RADIANCE. *Radiance software description*. [En línea] Agosto 1997. Disponible en: <<http://radsite.lbl.gov/radiance/>>

REINHART, Christoph F. y WALKENHORST, Oliver. *Validation of dynamic RADIANCE-based daylight simulations for a test of office with external blinds*. Energy and Buildings, Vol.33, nº7, September 2001, pp. 683-697.

RINDEL, Jens Holger y CHRISTENSEN, Claus Lyng. *Auralisation of concert halls using multi-source representation of a symphony orchestra*. [En línea] 2008, Disponible en: <<http://www.odeon.dk>>

RINDEL, Jens Holger y CHRISTENSEN, Claus Lyng. *Odeon, a design tool for noise control in indoor environments*. [En línea] Disponible en: <<http://www.odeon.dk>>

RINDEL, Jens Holger. *The Use of Computer Modeling in Room Acoustics*. Journal of Vibroengineering, vol.4, nº3, 2000. [En línea] Disponible en: <<http://www.odeon.dk>>

SAN MARTÍN, Ricardo y ARANA, Miguel. *Predicted and experimental results of acoustic parameters in the new Symphony Hall in Pamplona, Spain*. Applied Acoustics, nº67, 2006, pp. 1-14.

SULLIVAN, Ann C. *Photorealistic Light Simulation*. Architecture, Octubre 1996, vol. 85, no. 10, pp. 177-179.

STANFORD ENGINEERING. *Stanford Architectural Design Program*. [En línea] Julio 2009. Disponible en: <<http://www.stanford.edu/dept/archdesign/index.html>>

UC BERKELEY ENVIRONMENTAL DESIGN. *PhD Architecture*. [en línea] Julio 2009. Disponible en:<<http://arch.ced.berkeley.edu>>