

Extracto

En el análisis acústico de una escena se utilizan a menudo teorías que requieren el estudio en dos y tres dimensiones, según su complejidad. 3D Studio representa una potente herramienta de trabajo para el modelado, iluminación y texturizado de escenas tridimensionales. Esta aplicación de diseño gráfico no permite llevar a cabo ningún estudio del sonido pero si puede ser la base sobre la cual poder ejecutar unas herramientas que nos permitan realizar el análisis acústico de un entorno.

Este proyecto supone la creación, mediante la programación en el lenguaje MAXScript, de un plug-in script para 3D Studio que aprovechando su potencia con el manejo de información en el espacio nos permita hacer mediciones sobre una escena previamente modelada.

Índice

Extracto	I
Índice	II
Resumen	1
1. Introducción	2
1.1. Objetivos del proyecto	2
1.2. Motivación del proyecto	5
2. Teoría acústica	7
2.1. Fundamentos teóricos	7
2.1.1. Tipos de fuentes sonoras	7
2.1.2. Directividad de una fuente	8
2.1.3. Ponderación del nivel sonoro	8
2.2. Fuentes de sonido ambiental y su análisis	10
2.2.1. Tráfico rodado. Fuentes de sonido.	10
2.2.2. Tráfico rodado. Estudio acústico mediante el modelo RLS.	15
2.2.3. Tráfico rodado. Factores que afectan en la propagación del frente de onda.	19
2.2.4. Tráfico ferroviario. Fuentes de sonido.	20
2.2.5. Tráfico ferroviario. Método de análisis.	22
2.2.6. Problemas generados por vibraciones	27
2.2.7. Impacto sonoro del tráfico aéreo	28
2.3. Soluciones para la reducción del nivel sonoro	29
3. Las herramientas	35
3.1. 3D Studio	35
3.1.1. Modelado de la escena	35
3.1.2. Materiales	38
3.1.3. Inclusión de luces y cámaras	41
3.2. AutoCAD	44
3.3. Microsoft Excel. Automatización OLE	46

3.3.1.	Funcionamiento básico de Excel como hoja de cálculo_____	46
3.3.2.	Utilización de una hoja de Excel como base de datos_____	49
3.3.3.	VBA en Excel. Macros _____	49
3.3.4.	Automatización OLE _____	50
4.	El lenguaje: MAXScript _____	52
4.1.	¿Qué es MAXScript?_____	52
4.2.	Funcionalidad _____	53
4.3.	Oyente de MAXScript _____	55
4.4.	Grabadora de macros _____	58
4.5.	Ejemplos _____	60
5.	La aplicación_____	61
5.1.	Esquema de la aplicación _____	61
5.2.	Punto de partida _____	62
5.3.	Unidades físicas y escalas _____	63
5.4.	Vínculo con Microsoft Excel y su utilización como motor de cálculo_	65
5.5.	Clasificación de fuentes sonoras por tipos _____	67
5.6.	Almacenaje de parámetros en la base de datos _____	69
5.7.	Elección del punto de análisis_____	71
5.8.	Análisis _____	72
6.	Conclusiones y líneas futuras_____	74
	Bibliografía_____	76

Resumen

En la actualidad la sociedad está desarrollando una progresiva sensibilización respecto a la contaminación acústica, y a la hora de edificar cada día se contemplan más los conceptos de confort acústico de un espacio o entorno. Con la revolución industrial y tecnológica que ha sufrido el planeta en el último siglo el hombre ha creado todo tipo de dispositivos con el fin de mejorar su calidad de vida, en todos los aspectos excepto en el acústico; el auditivo parecía ser el menos importante de los sentidos. Maquinaria para la construcción, medios de transporte, etc... son elementos que han ido evolucionando desde sus inicios, mejorando siempre sus prestaciones, pero descuidando en la mayoría de los casos la molestia sonora que suponían. Afortunadamente, en las últimas décadas las firmas han pasado a invertir importantes cantidades de dinero con el fin de conseguir aparatos cada día más silenciosos. El silencio ha pasado a ser una prestación más del producto que el usuario busca.

En los últimos años las normativas relacionadas se han ido endureciendo y ante esta sensibilización general no es extraño ver como algunos elementos como las barreras acústicas han pasado a ser habituales en la construcción de vías de transporte, para minimizar así la contaminación acústica de las edificaciones cercanas.

El confort acústico ha pasado a ser un punto más a tener en cuenta a la hora de construir, tanto en exteriores como para interiores. El diseño de una sala ya no es cosa del azar. Las formas y materiales son meticulosamente estudiados con antelación y escogidos dependiendo siempre de los múltiples usos que pueda desempeñar ese espacio: salas de conciertos, salas de conferencias, aulas, etc...

Por fin la preocupación por el oído se ha puesto al nivel de los otros sentidos.

1. Introducción

1.1. Objetivos del proyecto

El objetivo de este proyecto es crear una aplicación que permita analizar acústicamente un entorno: una herramienta que nos permita conocer que niveles de sonido obtenemos en un punto seleccionado por el usuario, que nos permita conocer que efecto provoca sobre esas mediciones el cambio de alguna característica de la escena, como por ejemplo la colocación de una barrera acústica o el uso de un material absorbente.

¿Por qué diseñar una aplicación de este tipo cuando ya hay en el mercado herramientas que ya realizan esta labor? Esta es una pregunta que una persona que se mueva dentro del mundo de la acústica se puede hacer al conocer la existencia de este proyecto. ¿Qué aporta de nuevo? ¿Es mejor que los ya existentes? Serían otros posibles interrogantes. Todo esto tiene respuesta.

La acústica es una parte de la física que no ha aparecido en los últimos días. Toda la teoría física que se utiliza para las simulaciones realizadas mediante software ya lleva muchos años ante nosotros, y podemos afirmar con rotundidad, sin conocer a fondo todas las otras aplicaciones, que todas ellas utilizan los mismos fundamentos (las mismas ecuaciones y métodos) y que las diferencias entre ellas radicarán en distintos algoritmos para hacer el programa más potente, más rápido y con el menor uso de recursos. Otros factores que se buscan con afán son un uso sencillo e intuitivo.

¿Qué ofrece este proyecto? Este proyecto se basa en los mismos fundamentos físicos ya comentados, y que se verán con profundidad más adelante, pero en lugar de ser una aplicación por sí misma, se trata de un añadido (plug-in) del programa 3D Studio, es decir, requiere de la presencia de

éste para su funcionamiento. Esto, al contrario de resultar un inconveniente, supone un aumento en las posibilidades que ofrece la herramienta en conjunto.

3D Studio es una de las herramientas de diseño gráfico más extendidas del mercado, que permite crear cualquier objeto o escena imaginable partiendo desde la nada. Al provenir del mismo fabricante también es muy fácil partir de dibujos realizados con AutoCAD, ya sea el 2D o en 3D, para importarlos después a 3D Studio y seguir entonces con los procesos donde esta herramienta marca las diferencias, es decir, iluminación, texturizado y animación. En caso de importar un dibujo en dos dimensiones procederemos a convertirlo en algo tridimensional (extrusión, torno, solevado). Así pues, es evidente que estamos trabajando con un software que nos permitirá crear un modelo sintético de aquello que deseemos analizar: un topográfico con vías de transporte y viviendas donde estudiar la óptima colocación de barreras acústicas o una sala de conferencias donde escoger los materiales más óptimos para tener una mayor inteligibilidad.

Al trabajar con esta herramienta de diseño 3D podremos, además de obtener los cálculos de parámetros acústicos (niveles sonoros, ...), conseguir resultados visuales de nuestra escena. Ver el impacto visual de unas barreras acústicas junto a una autopista o comprobar la adecuación de los materiales escogidos para recubrir las paredes de una sala de conciertos son alguna de las ventajas que nos ofrece este plug-in y que no encontramos en otros programas de este tipo.

Obviamente, para el proceso de construcción de la escena se hará imprescindible conocer alguna de las herramientas de creación gráfica antes mencionadas (AutoCAD o 3D Studio). Una vez la escena a analizar esté creada ya no será necesario ser un conocedor de este tipo de programas; el diseño de la aplicación de análisis acústico se ha realizado pensando en un usuario que desconozca el uso de las herramientas gráficas y tan sólo precise de conocimientos de acústica para llevar a cabo el estudio deseado. El modelo 3D será la fuente de donde obtener los datos requeridos para el análisis. La situación en el espacio de las fuentes de sonido y del punto donde realizar la

medida serán datos fáciles de obtener usando un programa como 3D Studio ya que simplemente serán puntos situados en el espacio (x, y, z). Otro tipo de parámetros necesarios para el cálculo serán pedidos al usuario a través de intuitivos formularios colocados en flotantes, siguiendo la estética habitual de 3D Studio.

3D Studio es una aplicación que en sus últimas versiones se ha dividido en dos: 3D Studio MAX y 3D Studio VIZ. La primera estaría emplazada en el mundo de la animación y los video-juegos, mientras que la segunda se ubicaría en un plano más cercano a la arquitectura o diseño industrial. Con el fin de no mermar las posibilidades del plug-in de análisis acústico, éste se ha diseñado para un correcto funcionamiento con ambas versiones, haciéndolo independiente de las pequeñas particularidades que poseen una versión respecto a la otra. También hay que comentar que este proyecto se ha llevado a cabo con 3D Studio MAX 3.0, pero que, a priori, el funcionamiento del plug-in debería seguir siendo el esperado en versiones posteriores.

Una vez obtenidos los datos que caracterizan el escenario, éstos serán procesados para posteriormente ofrecer los resultados del análisis. Debido a las limitaciones del lenguaje MAXScript en lo que a potencia de cálculo se refiere se utilizará un motor de cálculo externo para todas las tareas matemáticas asociadas al análisis. Para este fin se ha escogido Microsoft Excel. Esta aplicación de Office nos permite una sencilla automatización OLE, esto es una conexión entre las dos aplicaciones, 3D Studio y Microsoft Excel, de tal modo que la primera puede comandar a la segunda, y delegar así la realización de unos cálculos que mediante MAXScript serían difícilmente posibles (no está pensada para este fin). Otra ventaja no menos importante de la elección de Excel para esta misión es su extendida implantación en la informática doméstica y empresarial; escoger otra aplicación sería arriesgado pues ningún otro software de este tipo está tan extendido.

Hay que dejar claro que el uso de Microsoft Excel como motor de cálculo se realizará en un segundo plano, sin que el usuario llegue, en principio, a notar su presencia. Por otro lado siempre nos será posible acceder a las hojas de

cálculo utilizadas en los cálculos, que serán archivos comunes de Excel (.xls) que nos servirán para posteriores análisis de los cálculos intermedios (podemos llevarnos la hoja de cálculo a otra máquina que no tenga instalado 3D Studio y observar los resultados) o como simple base de datos donde almacenar todos aquellos datos adicionales de la escena que 3D Studio no es capaz de interpretar (dB, propiedades de las fuentes sonoras, etc...).

1.2. Motivación del proyecto

Ya hace algunos años que los tentáculos del diseño por ordenador se empezaron a extender a nuestro alrededor. Paulatinamente, aquellos que trabajaban en temáticas de diseño gráfico fueron cambiando sus herramientas, el papel y el lápiz por el PC. En nuestro entorno se fueron haciendo cada vez más habituales las imágenes generadas por ordenador y su presencia en la publicidad y el cine ha ido creciendo espectacularmente hasta llegar a la producción de largometrajes íntegramente generados por computadora (la saga de “*Toy Story*”, “*Bichos*”, “*Shrek*” o la recientemente aparecida y de un realismo sin precedentes “*Final Fantasy*”).

Uno de mis primeros recuerdos de la aparición de este fenómeno fue una infografía de algunos pabellones de la Exposición Universal albergada en Sevilla en 1992. Me fascinó el hecho de poder visitar algo que ni siquiera había sido construido aún. Sin embargo, veía ese fascinante mundo muy lejano e inalcanzable para mí, algo reservado a unos pocos.

Mi interés por las nuevas tecnologías fue creciendo por aquél entonces, pese a que llegar a introducirme en el mundo de la infografía era algo que creía fuera de mis posibilidades. Ese interés me llevó a iniciar mis estudios universitarios, concretamente en la especialidad de imagen y sonido. Una vez iniciados mis estudios conocí la existencia del CeCAD (Centro de CAD) de *Enginyeria i Arquitectura La Salle*. Fue entonces cuando vi una puerta que conducía a aquello que me parecía tan inalcanzable.

Éste va a ser mi tercer año vinculado a este departamento. Desde mi llegada he aprendido mucho pero aún queda un largo camino por recorrer. Este es un mundillo que evoluciona constantemente y el final del camino parece irse alejando a medida que uno se acerca a él.

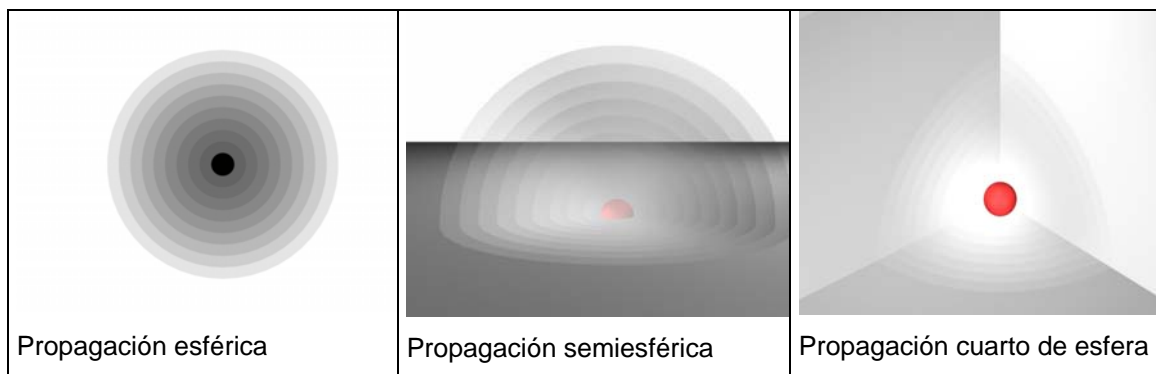
Aunque esta temática es la que más me apasiona, a lo largo de la carrera he visto otros conocimientos que también me han parecido especialmente interesantes. La asignatura *Acústica de recintos*, cursada en el tercer año, fue una de esas disciplinas que me dejó un buen sabor de boca. A la hora de escoger el contenido de mi proyecto pensé en la fusión de esos dos mundos. En los análisis acústicos realizados en la asignatura de tercero trabajábamos habitualmente en dos dimensiones puesto que el estudio en la tercera dimensión añadía gran complejidad a los cálculos y esos menesteres quedaban reservados para el software de simulación cuyo funcionamiento comprobamos en algunas sesiones de prácticas (aplicación *cadp2*). Por otro lado, en mi tareas departamentales acostumbraba a trabajar con una herramienta potentísima a la hora de moverse en un espacio 3D y la idea surgió.

2. Teoría acústica

2.1. Fundamentos teóricos

2.1.1. Tipos de fuentes sonoras

Una primera distinción que podemos realizar en las fuentes sonoras es en función de la forma de propagación de la energía en el medio. El primer caso que podemos considerar es aquella fuente sonora con un frente de ondas que se propaga uniformemente en todas direcciones, lo que conocemos con el nombre de fuente puntual. En el caso que la fuente se encuentre sin ningún obstáculo alrededor la propagación del sonido será esférica. Si ésta se encuentra sobre un plano la propagación será semiesférica y de un cuarto de esfera si se encuentra situada en una esquina.



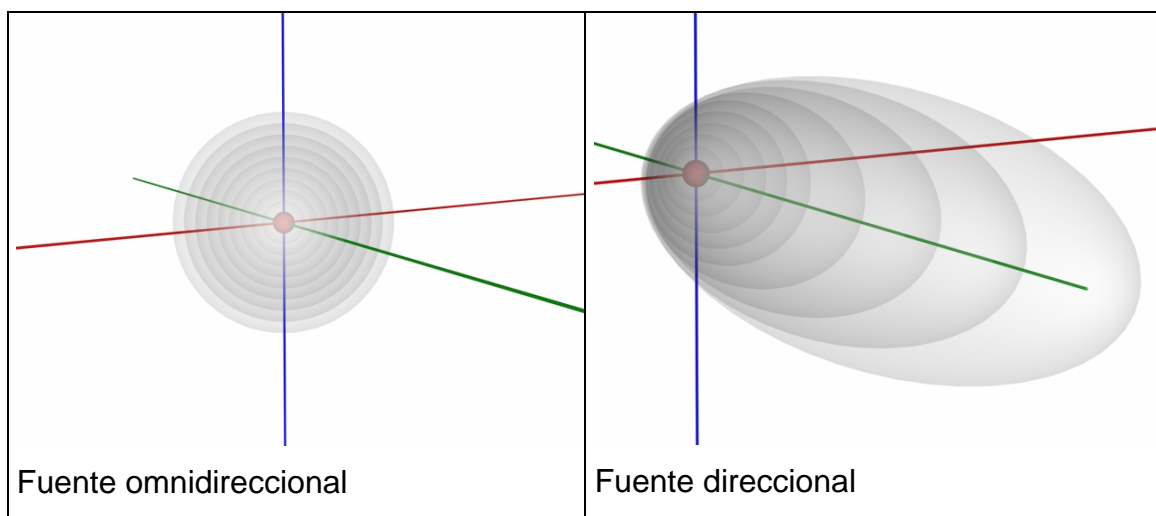
En la mayoría de casos reales podremos aproximar todas las fuentes como fuentes puntuales.

Hablaremos de fuentes lineales cuando la fuente sonora presente en una de sus dimensiones una magnitud mayor que el resto. El frente de onda, en este caso no se propagará de manera esférica sino que lo hará de forma cilíndrica. Este tipo de fuentes nos servirán para modelar cierto tipo de vías de tráfico, como una carretera o una línea de ferrocarril, donde el origen del sonido se extiende más o menos uniformemente a lo largo del recorrido de la vía.

En el caso de una fuente puntal veremos que al alejarnos tendremos una caída de 6 dB al doblar la distancia, mientras que en el caso de las fuentes lineales, la pérdida de energía será de tan sólo 3 dB

2.1.2. Directividad de una fuente

Para entender fácilmente el concepto de directividad podemos comparar la propagación del frente de onda en una fuente omnidireccional (o no direccional) y una direccional.

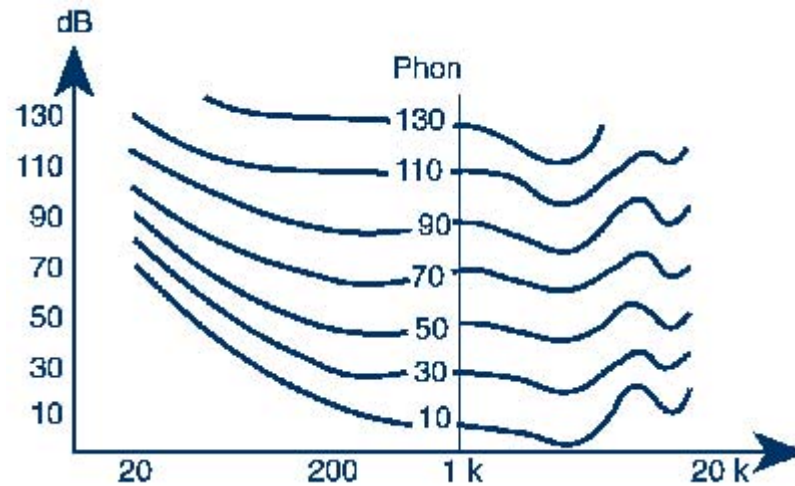


La fuente omnidireccional se caracteriza por tener el mismo nivel de presión sonora en cualquier punto equidistante del origen, mientras que en una fuente direccional el nivel de presión depende del ángulo entre el máximo de radiación y el punto que queremos conocer.

2.1.3. Ponderación del nivel sonoro

Si estamos hablando de un sonido, concretamente de un tono, podremos caracterizarlo indicando su frecuencia y su amplitud. Esta caracterización, a priori tan simple, se vuelve más compleja si buscamos otras propiedades del sonido como el grado de molestia que supone. Entramos entonces en sensaciones subjetivas de cada individuo. El oído humano no funciona igual en todas las frecuencias y la sensación de sonoridad no será simplemente función de la amplitud.

A partir de las curvas isofónicas, conseguidas a base del estudio de muchos individuos, se establece el *fon* como magnitud para medir la sensación de sonoridad. Mediante la simple observación de estas curvas podemos apreciar que el oído humano responde peor a bajas y altas frecuencias.



La relación de sonoridad no es proporcional al incremento de nivel de presión sonora, esto se debe a que la respuesta del sistema auditivo humano es logarítmica con el estímulo. Con el fin de tener una relación lineal aparece un nuevo parámetro llamado *son*.

$$S = 2^{\frac{fons-40}{10}}$$

El *son* se define como la sonoridad de un tono de 1 kHz y 40 dB SPL.

En la medición de la molestia sonora se han establecido unas correcciones con el fin de ajustarse a la sensibilidad del aparato auditivo humano. En el intento de simular el comportamiento del oído humano los equipos de medida vienen equipados con tres filtros de ponderación. Estos filtros modifican la respuesta en frecuencia de los micrófonos.

La ponderación A es la más utilizada por su facilidad de medida. El dB (A) se está convirtiendo en el parámetro de más uso, incluso en sectores donde

habitualmente se utilizaban otras ponderaciones, como en el caso de la aeronáutica, en que los altos niveles de presión sonora recomendaban el uso de otra ponderación. Con la transición a los dB (A) se consigue la unificación del sistema de medida. Los resultados obtenidos en el análisis llevado a cabo en este proyecto seguirán este criterio y serán expresados en dB (A). En la siguiente tabla se puede observar la corrección realizada en cada banda de frecuencia y para cada una de las tres ponderaciones.

Ponderaciones									
Frecuencia (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A	-39	-26	-16	-8	-3	0	1	1	-1
B	-17	-9	-4	-1	0	0	0	-1	-3
C	-3	-1	0	0	0	0	0	-1	-3

2.2. Fuentes de sonido ambiental y su análisis

2.2.1. Tráfico rodado. Fuentes de sonido.

El tráfico rodado es el principal causante de la contaminación acústica que sufre la sociedad. Hay estudios que cifran su contribución en un 80 % de toda esta contaminación. Dentro de este gran conjunto de fuentes individuales que componen el ruido del tráfico rodado evidentemente no todas se comportarán del mismo modo. Como ya se ha comentado, los fabricantes, cada vez más sensibilizados con la molestia acústica, dotan a los vehículos de dispositivos para reducir en lo posible los niveles sonoros. Tampoco podemos comparar tipos de vehículos tan dispares como un turismo o un camión de gran tonelaje. Podríamos agrupar los vehículos dentro de cuatro grandes grupos:

- Coches (Gasolina / Diésel).
- Vehículos pesados.
- Vehículos comerciales ligeros.
- Motocicletas.

Aun con todo, haremos una simplificación que nos permitirá quedarnos con tan sólo dos categorías, que serán las que distinguiremos a la hora del análisis:

- Vehículos ligeros (peso inferior a 1525 Kg) .
- Vehículos pesados (peso superior a 1525 Kg) .

Pese a esta simplificación no debemos olvidar que el sonido generado por un vehículo dependerá de múltiples factores como:

- Tipo de vehículo (coche, camión, autobús, motocicleta,...).
- Medidas de reducción de ruido en su diseño.
- Mantenimiento.
- Modo de conducción (velocidad, aceleración, ...).
- Condiciones del entorno (superficies reflectantes, absorbentes,...).

Para tener una idea de los niveles según el tipo de vehículo podemos ver en esta tabla los resultados de un estudio realizado en Alemania, con un total de 22.000 pasos de vehículos, realizando la medición a una distancia de 7.5 metros de la trayectoria de paso.

Tipo de vehículo	L ₅₀ dB(A)
Ciclomotor	73
Motocicleta pequeña	82
Motocicleta	78
Coche (Gasolina)	70,5
Coche (Diésel)	72
Furgoneta (Gasolina)	72,5
Furgoneta (Diésel)	75
Autobús	80
Camión (motor <105 kW)	79,5
Camión (motor <150 kW)	82,5
Camión (motor >150 kW)	85

Definimos L₅₀ como el nivel de presión sonora superado durante el 50 % de la muestra. En la tabla podemos apreciar claramente la diferencia de nivel

entre un coche y un camión de gran tamaño, ejemplo que ya mencionamos anteriormente. Ahora podemos ver que efectivamente la diferencia entre ellos es importante, de hasta unos 15 dB. Vemos también en la tabla que incluso entre tipos de vehículo muy similares existen diferencias. Entre un coche diésel y uno gasolina encontraremos diferencias de hasta un par de dB. Incluso entre coches usando gasolina podemos encontrar diferencias de hasta 4 dB a causa de otros factores como la potencia

En el caso de camiones y autobuses encontramos vehículos equipados con motores diésel que trabajan a menos revoluciones y que, por tanto, presentan componentes más importantes a baja frecuencia. Por norma general el nivel de ruido es mayor, aunque puede ser tratado con encapsulados del motor y el cambio (reducciones de hasta 10 dB) que supondría niveles similares a los de los turismos.

Las motocicletas, pese a su pequeño tamaño y cilindrada respecto a los vehículos citados anteriormente, son fundamentales a la hora de considerar la contaminación acústica. La elevada aceleración de los motores con que están equipadas provocan la aparición de una frecuencia fundamental y unos armónicos más elevados que los producidos por los coches o los motores de vehículos pesados. Su pequeño tamaño dificulta la colocación de silenciadores más eficaces para reducir el ruido que generan. Todos estos factores hacen que las motocicletas puedan considerarse altamente molestas.

Tranvías y trolebuses han desaparecido paulatinamente de nuestras calles, pero aún son muchas las ciudades extranjeras que siguen contando con este tipo de transporte público. Podemos situar los niveles de ruido de los tranvías cerca de los niveles de los vehículos pesados, aunque a veces pueden incluso llegar a superar el ruido generado por un tren. Los niveles producidos por el paso de un tranvía dependerán de varios factores, como la velocidad o el tipo de vía por el que se desplaza (dependiendo entre materiales como madera, hormigón o acero podemos encontrar diferencias cercanas a los 10 dB). El nivel de los trolebuses sería inferior al del tranvía y superior al de un autobús.

Ya se ha dicho que las medidas dependerán de factores que podemos considerar externos, como el estilo de conducción, la velocidad que imprima el piloto o la superficie sobre la se desplace el vehículo. Es de especial importancia a velocidades superiores a 50 Km/h el llamado ruido de rodadura, producido por el contacto entre las ruedas y el pavimento. A velocidades superiores el sonido producido se incrementará 9 dB (A) al doblar la velocidad. A velocidades bajas (tráfico urbano) los niveles de ruido serán independientes de la velocidad (dependerá de las r.p.m. del motor y a velocidades bajas se utilizan marchas cortas) y el factor más decisivo será el tipo de vehículo.

Así pues, podemos dividir el ruido generado por un vehículo en dos: el del motor, más importante a bajas velocidades, y el de rodadura, que adquiere más importancia a velocidad elevada. La mayor parte del ruido del motor es provocado por el proceso de admisión y escape durante el proceso de combustión. El ruido provocado por la emisión de gases puede ser reducido de manera considerable mediante el uso de silenciadores. El silenciador, no debe, sin embargo, dificultar el flujo de salida de los gases ya que esto afectaría el rendimiento del motor. Con la utilización de silenciadores se pueden alcanzar niveles de escape de 10 dB por debajo del ruido del motor. Es por ello que no resulta muy difícil apreciar una rotura en el tubo de escape de un vehículo; comprobamos entonces lo importante de la reducción lograda por el silenciador.

Podemos describir un silenciador como una combinación de sistemas de tubos perforados con cámaras de expansión. El uso de perforaciones es esencial para reducir el sonido provocado por el flujo de gas, y incrementar así las atenuaciones logradas a partir de los 2 kHz. Serán necesarios grandes volúmenes para atenuar frecuencias entre los 30 y los 120 Hz. Esto provoca problemas de espacio en algunos vehículos, como ya se dijo en el evidente caso de una motocicleta.

El ruido de rodadura se convierte en el ruido dominante cuando el vehículo viaja a altas velocidades. Ya que el causante de este ruido es el

contacto entre las ruedas y el pavimento, el estado de éste último afectará en gran medida. La velocidad a partir de la cual el ruido de rodadura se hace más importante bajará en el caso de estar rodando sobre un pavimento mojado. En la actualidad, con las progresivas mejoras que se han ido realizando a los silenciadores de los vehículos y al reducir así el sonido del motor, el ruido de rodadura ha adquirido más importancia. Para intentar reducir su efecto conozcamos los factores que influyen:

- Velocidad.
- Peso.
- Características de la rueda (dibujo, estructura, material, desgaste)
- Textura de la carretera.
- Condiciones meteorológicas.

La contribución de la velocidad al ruido de rodadura es la más estudiada. El nivel de pico generado por un vehículo en movimiento se ha cuantificado en función de su velocidad:

$$L_A (dB (A)) = m \cdot \log v + c$$

v: velocidad en Km/h

m: constante dependiente del tipo de rueda

c: constante

El peso del vehículo afectará claramente al ruido producido. Un incremento en la carga llevará asociado un aumento del ruido de rodadura. Los incrementos producidos dependerán del tipo de rueda y el asfalto sobre el que se circula. Así, una rueda con dibujos transversales será en torno a 1 dB más ruidosa que otra con un trazado longitudinal. El diseño de la rueda podría favorecer la reducción del sonido pero eso supondría empeorar otros factores como la adherencia, la tracción o la evacuación de agua al rodar sobre pavimento mojado, poniendo en peligro la seguridad del vehículo. Se debe llegar a un compromiso. La estructura interna del neumático también repercutirá. Podemos encontrar ruedas de dos tipos: formadas por hilos

radiales y por hilos transversales. El diseño radial será 1 ó 2 dB más silencioso que el transversal.

El tipo de goma que compone la rueda no es un factor que induzca a grandes diferencias, pero si puede ser importante por una mayor o menor resistencia. El desgaste del dibujo del neumático si afectará, ya que se reduce la profundidad de las trazas sobre la rueda.

Cuando hablamos del tipo de asfalto sobre el cual circula el vehículo nos encontramos ante una situación similar a la de elegir el dibujo del neumático. La textura del pavimento debe favorecer la adherencia del vehículo a la carretera a velocidades altas y en condiciones meteorológicas adversas (en caso de lluvia es peligroso el acuaplaning), debe favorecer el frenado y evitar el deslizamiento. Los pavimentos de mezclas asfálticas con porcentajes de porosidad de entre el 20 y 25 % presentan unos niveles ligeramente mejores que los asfaltos rígidos formados por hormigón con tratamiento de la textura superficial.

Para acabar con todos los factores que repercuten en el ruido de rodadura no hay que olvidar las condiciones meteorológicas. Un pavimento mojado actúa como una superficie reflectante y por tanto los niveles de ruido aumentan de manera espectacular, hasta 10 dB.

2.2.2. Tráfico rodado. Estudio acústico mediante el modelo RLS.

Hasta ahora hemos hablado del tráfico como un conjunto de fuentes sonoras individuales, el sonido de las cuales los fabricantes, sensibilizados con el tema de la contaminación acústica, han ido reduciendo paulatinamente con soluciones varias. Aun con todo, estas soluciones pueden resultar insuficientes si tenemos en cuenta el elevado número de vehículos que circulan actualmente por las carreteras y que cada vez va en aumento o la mejora de las vías de circulación que permiten alcanzar velocidades más elevadas. Es por esto que se precisan medidas alternativas para reducir el grado de molestia ocasionado.

De cara a realizar un correcto análisis del acierto de las medidas tomadas para reducir la contaminación acústica, debemos tener en cuenta muchos más puntos que al considerar un conjunto de fuentes aisladas. Además de la generación del ruido debemos preocuparnos de la propagación de éste en el entorno. Como ya se ha visto, el pavimento influirá, pero no sólo la vía de transporte será importante, sino también lo que la rodea. La orografía del entorno (presencia de obstáculos o barreras acústicas) afectará en mayor o menor medida la propagación del ruido del tráfico.

Durante muchos años las administraciones y los centros de investigación han tratado de elaborar métodos de predicción que pudieran calcular los niveles sonoros generados por el tráfico contemplando todos esos factores que se han comentado a lo largo de esta sección. Fruto de todas estas investigaciones han aparecido múltiples sistemas para el análisis, todos ellos muy empíricos, es decir basados en la experiencia, pero los más utilizados son el modelo francés y el alemán. La implementación de este proyecto se basa en éste último, que es, además el modelo usualmente utilizado por la administración española. El modelo alemán es también conocido como modelo RLS.

El modelo francés podemos dividirlo en dos partes. Una que tendrá en cuenta el efecto en zonas urbanas, y otra en campo libre.

Modelo RLS

Este modelo parte de la idea de calcular los niveles sonoros generados a una distancia de 25 metros. La multitud de parámetros a tener en cuenta se ve reducido a dos, simplificando mucho la operativa: el volumen de tráfico (M) y el porcentaje de vehículos pesados (p).

Como la sensación de molestia es diferente dependiendo de la hora del día, los cálculos de los niveles sonoros se realizarán por duplicado: uno diurno y otro nocturno. Dependiendo del país encontraremos diferentes interpretaciones de esta bifurcación de cálculo. En el método original se consideran 15 horas diarias como horario diurno y 9 para el nocturno. En el

caso de la normativa española debemos modificar estos datos: 16 horas diurnas por tan sólo 8 nocturnas.

Así pues, el primero de los dos parámetros con los que trabajaremos ya lo calcularemos por duplicado. Conociendo el volumen de vehículos diarios (IMD) que circulan por una vía podremos llegar a promediar la cantidad de vehículos que circulan por hora en cada una de las dos franjas del día.

$$M(\text{día}) = \text{IMD} \cdot \frac{0.84}{16} \qquad M(\text{noche}) = \text{IMD} \cdot \frac{0.16}{8}$$

Con estos datos y el porcentaje de vehículos pesados podemos ya calcular un primer nivel sonoro a 25 metros. Este primer cálculo no ha sufrido aún ninguna corrección.

$$L_{25}(0) = 37.3 + 10 \cdot \log(M \cdot (1 + 0.082 \cdot p))$$

Sobre este primer cálculo aplicaremos una serie de correcciones relativas a aquellos factores externos comentados anteriormente.

$$L_{25}(\text{dB(A)}) = L_{25}(0) + \Delta L_f + \Delta L_p + \Delta L_c + \Delta L_v$$

Donde:

- ΔL_f : es la corrección por el tipo de pavimento.
- ΔL_p : es la corrección por la pendiente de la vía.
- ΔL_c : es la corrección por la presencia de cruces.
- ΔL_v : es la corrección por la velocidad y el porcentaje de pesados.

Veamos en qué consiste cada una de estas correcciones:

Tipo de asfalto	ΔL_f
Asfalto colado liso	0
Asfalto colado de hormigón acanalado/apisonado	2

Pavimento plano	3
Pavimento rugoso	6

La corrección por la pendiente tan sólo se aplicará en aquellas vías que excedan el 5 % de inclinación. Esta corrección se calcula como:

$$\Delta L_p = (0.6 \cdot \% \text{ pendiente}) - 3$$

Distancia en metros al cruce	ΔL_c
Hasta 40 m	3
de 40 a 70 m	2
de 70 a 100 m	1
más de 100 m	0

La corrección de velocidad y porcentaje de pesados se realiza a partir de la velocidad de los vehículos ligeros y pesados y el porcentaje de estos últimos.

$$l_{kw} = 23.1 + 12.5 \cdot \log v_l$$

$$p_{kw} = 27.7 + 10 \cdot \log (1 + (0.02 \cdot v_p)^3)$$

$$d = l_{kw} - p_{kw}$$

$$\Delta L_v = p_{kw} - 37.3 + 10 \cdot \log \left(\frac{\left(10^{\frac{d}{10}} - 1 \right) \cdot p + 100}{100 + 8.23 \cdot p} \right)$$

Aplicando las correcciones conseguiremos el nivel sonoro a 25 metros del centro de la vía simulada mediante el modelo RLS.

2.2.3. Tráfico rodado. Factores que afectan en la propagación del frente de onda.

En la propagación del sonido desde la vía hasta el punto donde se realiza la medida deberemos tener en cuenta un conjunto de atenuaciones que sufre el sonido al propagarse:

- Absorción del aire: parte de la energía se pierde en el trayecto absorbida por el medio. Esta pérdida dependerá de la temperatura, la humedad del aire y la frecuencia. Podemos generalizar su efecto en la siguiente tabla.

Distancia del receptor a la vía	Atenuación dB(A)
50 m	1
150 m	2
300 m	4
1000 m	6

- Pérdida de nivel sonoro con la distancia: una carretera se comporta como una fuente lineal y, por tanto, presentará una atenuación de 3 dB (A) al doblar la distancia para cualquier frecuencia.
- Efecto causado por el suelo: el suelo supone la existencia de un plano sobre el cual podremos tener rebotes. El efecto de estos rebotes dependerá mucho del tipo de suelo, de si el suelo es una superficie dura o si por el contrario es porosa. Como resulta difícil de determinar en principio no se incluirá en el cálculo.
- Climatología: la previsión de propagación del sonido generado por el tráfico se realiza suponiendo siempre una atmósfera homogénea. Estas condiciones no siempre se cumplen, y el viento o la lluvia pueden provocar desviaciones respecto a las previsiones (de hasta 10 dB como ya vimos en caso de lluvia). De todos modos, estas alteraciones fluctúan en el tiempo y

estadísticamente son insignificantes. Excepto en casos particulares, la influencia de estos fenómenos no se tendrá en consideración.

- Presencia de obstáculos y pantallas acústicas: más adelante se explicará con detalle el efecto sobre la propagación del sonido de estos elementos

2.2.4. Tráfico ferroviario. Fuentes de sonido.

A la hora de realizar un estudio sobre el impacto sonoro causado por una línea ferroviaria se deben considerar los niveles generados y su transmisión por el aire y por la vía. Tan sólo en el caso de un estudio de un tren subterráneo podríamos olvidarnos de la transmisión aérea.

Cuando hablamos de las fuentes de sonido que podemos encontrar en el tráfico ferroviario deberíamos referirnos a dos grupos: las que dependen del movimiento del tren, y las que son independientes de éste. Entre las independientes del movimiento del tren encontraríamos el ruido generado por la locomotora, que sea cual sea su estado genera niveles muy altos. Sonidos asociados al movimiento del tren serían el ruido aerodinámico y el generado por el contacto entre la rueda y el raíl.

La locomotora es probablemente el elemento más ruidoso de los elementos de un tren. Podemos encontrar locomotoras propulsadas por motores diésel y eléctricas. Las equipadas con motores diésel generan niveles más altos de ruido. Estas locomotoras provocan niveles de 85 a 90 dB (A) a 25 metros de distancia y las potencias de sus motores oscilan entre 1 y 3 MW. Las velocidades máximas desarrolladas de estos motores son de 750 – 1500 r.p.m., lo que genera un ruido con una importante componente de bajas frecuencias. Al encontrarse el origen del sonido en la parte alta de la locomotora su propagación se ve favorecida y se reduce la eficacia de las barreras acústicas si el receptor se encuentra a una cierta altura. Para reducir estos niveles deberíamos actuar sobre la propia locomotora. Los silenciadores de absorción deberían ser de cámaras muy grandes, y por tanto, su uso queda

descartado. En la actualidad se usan silenciadores reactivos que llevan a la obtención de unos niveles sonoros bastante aceptables.

Las locomotoras eléctricas son mucho más silenciosas. La potencia la obtenemos en este caso de un tercer carril o de una catenaria. El problema se concentra, en este caso, en la ventilación de los equipos eléctricos y de tracción de ruedas, así como de los compresores que se encargan de suministrar los distintos servicios del tren.

Si pasamos a hablar del ruido generado por la interacción entre rueda y raíl deberemos tener especial atención a dos momentos: el momento de frenado y el trazado de las curvas. Anteriormente en algunos trenes, los que viajaban a velocidades inferiores a los 160 Km/h encontrábamos un tipo de freno basado en la colocación en forma diametral de unas piezas de acero que entran en contacto con la rueda en el momento de frenar. Trenes que desarrollan velocidades superiores no utilizan este método de frenado ya que el sistema podría dañar térmicamente las ruedas. Pequeñas ondulaciones en las superficies de las ruedas y el raíl puede generar aumentos de más de 10 dB (A). Actualmente, los trenes de pasajeros vienen equipados con frenos de disco, que reducen estos efectos.

Las ruedas de un tren van paralelas montadas sobre un eje. Este montaje presenta problemas cuando la superficie de desplazamiento es perpendicular al eje. Esto sucede cuando un tren describe una curva. En este momento las superficies perpendiculares que evitan descarrilar entran en contacto con la vía. Debido a esto se generan unos niveles de vibración en la rueda que generan un nuevo ruido con una componente espectral elevada. Recibe el nombre de *squeal noise* (chillido). Cuanto más cerrada sea la curva mayor será el contacto entre las dos superficies y, por tanto, mayor será el nivel de ruido.

2.2.5. Tráfico ferroviario. Método de análisis.

Para empezar deberíamos comentar que, en el estudio de los niveles sonoros generados por un tren, podemos considerar el tren como una línea de dipolos incoherentes. Si desarrollamos la formulación de este modelo de fuente llegaremos a un conjunto de ecuaciones que nos darán los niveles en función de la distancia a la fuente en una posición perpendicular al eje de la vía. Una vez más, y como ya vimos en el caso de los coches, la propagación del sonido en el aire se verá afectada por factores varios que el sistema de análisis ya contempla.

El método, con el fin de simplificar los cálculos, integra todos los factores en un único parámetro que dependerá del tipo de tren. Para entender esta simplificación simplemente hay que recordar la diferencia entre una fuente puntual y una lineal. La primera presenta una atenuación de 6 dB al doblar la distancia, mientras que la fuente lineal se atenuará en 3 dB. Un tren muy largo radiará como una fuente lineal, mientras que una simple locomotora, observada desde una cierta distancia, se comportará como una fuente puntual aproximadamente.

Tipo de tren	Valor de k	dB/doble distancia
Tren largo	12	3,6
Tren mediano	15	4,5
Metro largo	15	4,5
Metro corto	16	4,8
Tren corto	17	5,1
Locomotoras	20	6

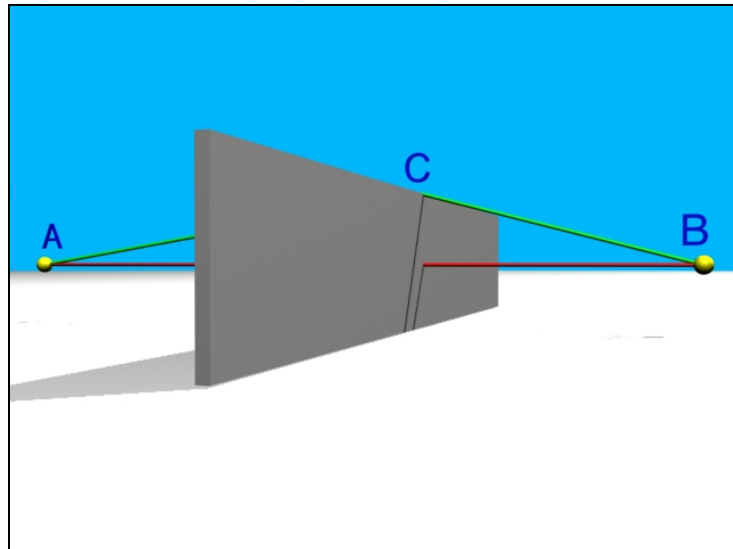
La conservación de la maquinaria y de las vías es un elemento que, al igual que el estado del pavimento en el caso del tráfico, puede provocar variaciones en los niveles de ruido. Debido a distintos estados de conservación de las vías se han llegado a medir diferencias de hasta 5 dB (A) en la medición de el mismo tipo de tren y a la misma velocidad. Siendo conscientes de esta

dispersión de valores podemos tomar como válidos los datos de la siguiente tabla, realizada por la compañía francesa de tráfico ferroviario (S.N.C.F), ya que es resultado de un gran número de medidas.

Tipo de tren	Velocidad Km/h	L _o dB(A) d _o =7.5 m	L _o dB(A) d _o d _o =15 m	L _o dB(A) d _o d _o =25 m
Tren corto y Metros	60	79	75	72
Tren pasajeros rápido	200	104	100	97
Tren pasajeros expreso	140	97	94	92
Tren mercancías lento	80	93	89	86
Tren mercancías rápido	100	96	92	89
Locomotoras Autorail	120	92	88	85
Locomotora ETG o RTG	155	96	91	89

A partir de esta tabla, conocemos el nivel que tenemos a una cierta distancia para un cierto tipo de tren. Vamos a ver ahora, como puede afectar a este nivel la presencia de obstáculos. La colocación de barreras acústicas para reducir el ruido generado por el paso de trenes pierde eficacia por una parte, ya que al generarse el sonido a una cierta altura, la zona de sombra acústica de la barrera es menor. Pero por otra parte, su eficacia aumenta, ya que las barreras pueden colocarse más cerca de la trayectoria del tren, mientras que en el caso del tráfico rodado debemos dejar una cierta distancia (arcén, etc...). En el caso de haber un obstáculo entre fuente y punto de medida veremos cual es la diferencia de caminos entre la trayectoria directa y la trayectoria que debe describir el frente de onda para sortear la barrera (rayo difractado).

$$\delta = AB - (AC + BC)$$



Una vez calculada la diferencia de caminos podemos obtener ya la atenuación provocada por efecto de la barrera.

$$\Delta_{\text{Barrera}} (\text{dBA}) = 9.4 \cdot \log (2 + 50 \cdot \delta)$$

Contrariamente al caso del tráfico rodado, donde cada vehículo puede ser considerado como una fuente puntual omnidireccional, un tren se comporta como una fuente compleja. En la práctica, podemos considerar que el tren se comporta como un dipolo acústico que emite de forma direccional en un cono de 60° de abertura. El cálculo de la atenuación debida a la directividad se puede realizar utilizando la siguiente ecuación empírica.

$$\Delta\alpha = 0.15 \cdot \alpha - 4.5$$

α ($^\circ$)	10	20	30	40	50	60	70	80	90
Kd dB(A)	0	0	0	1,5	3	4,5	6	7,5	9

Como los estudios se realizan en nivel equivalente y el paso del tren es pequeño respecto al tiempo de integración no es necesario tener en cuenta la directividad horizontal.

Estamos ya en condiciones de calcular el nivel máximo producido por el paso de un tren.

$$L_{\max} = L_0 - k \cdot \log \frac{d}{d_0} + 30 \cdot \log \frac{v}{v_0} - k_d - \Delta_{\text{Barrera}}$$

L_0 : nivel sonoro de referencia generado por un tren de tipo determinado.

v_0 : velocidad a la que viaja el tren de referencia.

d_0 : distancia a la que estamos de la trayectoria del tren de referencia.

k : factor que controla la atenuación con la distancia.

d : distancia del receptor al eje de la vía.

v : velocidad del tren en Km/h.

k_d : corrección por directividad.

Todos los parámetros excepto v y d , que dependerán del caso en que estemos realizando la medida, podremos encontrarlos en las tablas que aparecen con anterioridad. La validez de esta ecuación está sujeta a no alejarse más de 250 m del centro de la vía y en el caso de trenes que viajen a velocidades comprendidas entre los 40 y los 200 Km/h.

Ahora ya conocemos el nivel máximo generado por el paso de un tren, pero esto no es suficiente para analizar el ruido generado por los trenes. Será necesario realizar un promediado de un tiempo prolongado de los niveles generados por los trenes. Para conocer el nivel equivalente que recibe el receptor deberemos conocer el tiempo de exposición, que es el tiempo que transcurre entre la aparición del sonido y su total disipación. Precisar el momento en que el sonido se extingue por completo será algo que dependerá del ruido de fondo, lo que lo hace un tanto complicado. Para simplificar esto se escogió el criterio de considerar el tiempo de exposición aquel en que el nivel sonoro no difiere más de 10 dB(A) respecto del nivel máximo L_{\max} . Esta medición puede ser realizada experimentalmente, pero el método de análisis implementado en este proyecto recomienda la utilización de la siguiente fórmula.

$$t_e = \frac{3.6 \cdot l}{v} + \frac{6 \cdot d}{100}$$

l : es la longitud en metros del tren.

v : es la velocidad del tren en Km/h.

d : es la distancia del observador a la vía.

Obtenemos así el tiempo de exposición expresado en segundos. Debemos realizar este cálculo para cada uno de los trenes que circulen por la vía.

El cálculo del nivel equivalente del paso de un tren se efectuará mediante la ecuación:

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\frac{t_e}{T} \cdot 10^{\frac{L_{max}}{10}} \right]$$

t_e : tiempo de exposición en segundos.

L_{max} : nivel sonoro máximo al paso de un tren.

T : tiempo durante el cual estamos evaluando el nivel equivalente (en segundos).

$$T_{día} = (15) \cdot 60 \cdot 60 = 54.000 \text{ segundos.}$$

$$T_{noche} = (9) \cdot 60 \cdot 60 = 32.400 \text{ segundos.}$$

A veces el criterio puede ser 16 horas para el día y 8 para la noche.

Para calcular el nivel equivalente del tránsito real que circula por una vía ferroviaria deberemos conocer el tipo de trenes que circulan por ella y el número de cada uno de ellos.

$$L_{eq}^k = L_{eq(1\text{ paso})}^k + 10 \cdot \log(n)$$

k : tipo de categoría de tren.

n: número de trenes de categoría k.

$$L_{eq} = 10 \cdot \log \left[\sum_{k=1}^{N_k} 10^{\frac{L_{eq}^k (ntrenes)}{10}} \right]$$

Cuando nos estemos refiriendo a los resultados deberemos especificar entre el periodo diurno y el nocturno.

2.2.6. Problemas generados por vibraciones

Cuando nos encontramos ante el caso de un metro o un tren subterráneo deberemos tener en cuenta tan sólo el efecto de las vibraciones, puesto que no existe transmisión por vía aérea. Este tipo de precauciones no se toman habitualmente y por norma general, sólo se aplicarán en la construcción de edificios singulares, como un auditorio o un teatro.

En este tipo de construcciones, una vez se ha edificado el nivel más bajo se realizan unos análisis para medir el nivel de las vibraciones. No podíamos hacer esto antes ya que esto depende de la composición del suelo, y esta variaría al ir construyendo.

Los auditorios o teatros con problemas de vibraciones, como el caso del Liceo antes de su reconstrucción, presentan la solución de una edificación flotante. Así, la sala de un auditorio no esta en contacto con el resto del edificio, y descansa sobre unos pilares con materiales absorbentes que impiden el paso de la vibración.

Este tipo de impacto sonoro no se tendrá en cuenta en la implementación de este proyecto.

2.2.7. Impacto sonoro del tráfico aéreo

Las características del tráfico aéreo provocan que éste sea un problema que no afecta a una gran masa social. Tan sólo afectará, aunque de manera muy intensa, a aquellos ciudadanos situados cerca de un aeropuerto. La concentración en un solo punto de todos los aviones y los elevados niveles de ruido generados en el momento del despegue y aterrizaje provocan un efecto que deberá ser estudiado de una manera muy distinta a los ruidos generados por el tráfico rodado o ferroviario.

El ruido generado por el motor de una aeronave alcanza niveles muy altos, debido a la turbulencia de aire despedido a muy alta velocidad. Pese al uso de materiales absorbentes, esto no se traduce en mejoras significativas.

Como ya se comentó a la hora de hablar de las distintas ponderaciones que se utilizan en la medida del sonido la tendencia actual lleva hacia una unificación de criterios, trabajando siempre en dB (A), pese a que esta medida puede no ser la más idónea para la medición de los niveles generados en la aeronáutica.

El parámetro que utilizaremos para hablar de la molestia generada por el ruido de un avión será el Nivel de Sonido Percibido (PNL), que se calcula a partir de las curvas de igual sonoridad, la unidad de medida de las cuales es el noy.

El tiempo en el que evaluamos estos valores se debe tener en cuenta, y así obtener el Nivel Efectivo de Ruido Percibido (EPNL), que se mide en dBEPN.

El estudio del efecto de los despegues y aterrizajes de las aeronaves en un aeropuerto se realiza consiguiendo los niveles PNL y EPNL en un reticulado de puntos en la zona que deseamos estudiar.

El índice adoptado por muchos países para la evaluación del impacto acústico generado por las aeronaves es el índice de predicción de exposición al

ruido NEF. Se define para un punto x, una determinada nave con una trayectoria concreta. Este valor tendrá en cuenta el número de vuelos en las distintas franjas horarias, al igual que el método RLS en el tráfico rodado. La suma de todos los calculados nos dará un nivel que nos permitirá saber si los niveles son aceptables o no.

El cálculo del efecto de las aeronaves tampoco será llevado a cabo por el plug-in de este proyecto.

2.3. Soluciones para la reducción del nivel sonoro

Tras la realización de los análisis, mediante los modelos vistos en los apartados anteriores, obtendremos el nivel sonoro que se percibiríamos en el punto seleccionado para la medida. Esta cifra numérica, expresada ya en dB (A), nos permitirá saber si el ruido en ese punto es o no soportable. Este proyecto, siguiendo las pautas del modelo RLS para el análisis del tráfico rodado, considerará aceptable un nivel de 65 dB (A) durante las horas diurnas y 55 dB (A) para el periodo nocturno. Las administraciones de cada país e incluso las de cada ciudad pueden aplicar normativas con niveles límite distintos de estos, pero la inmensa mayoría coincide en estos valores.

Así pues, consideraremos válido el diseño analizado si se cumplen esos valores, pero en caso de no cumplirse deberán tomarse algunas medidas para reducir los niveles de ruido. Las soluciones dependerán de la situación. Por ejemplo, si tenemos que construir una carretera y podemos elegir su trazado deberemos intentar buscar condiciones orográficas favorables para la reducción del sonido. Un desmonte natural actuará de obstáculo para la propagación del sonido y seguramente no será necesaria la utilización de barreras acústicas.

Mostraremos un pequeño ejemplo que permitirá entender todo este proceso de manera muy intuitiva. En las siguientes imágenes podemos ver esto de manera gráfica. Se trata de un corte del trazado de una carretera sobre un

topográfico. En el primer caso podemos ver como el ruido generado por el tráfico rodado, representado en un color rojizo, se propaga sin encontrar obstáculo alguno.



En este segundo caso la misma carretera se ha construido aprovechando un desmonte natural, que apantalla el sonido y no permite la libre propagación del ruido generado hacia los laterales.



Habrán ocasiones en que la carretera ya esté construida, y por tanto no podremos cambiar su trazado. Supongamos en este caso que deseamos construir un bloque de pisos cerca de la carretera. Si realizamos las medidas pertinentes y los niveles son aceptables podemos construir. Si los niveles superan lo permitido una posible solución será construir nuestra edificación más lejos del origen del ruido.

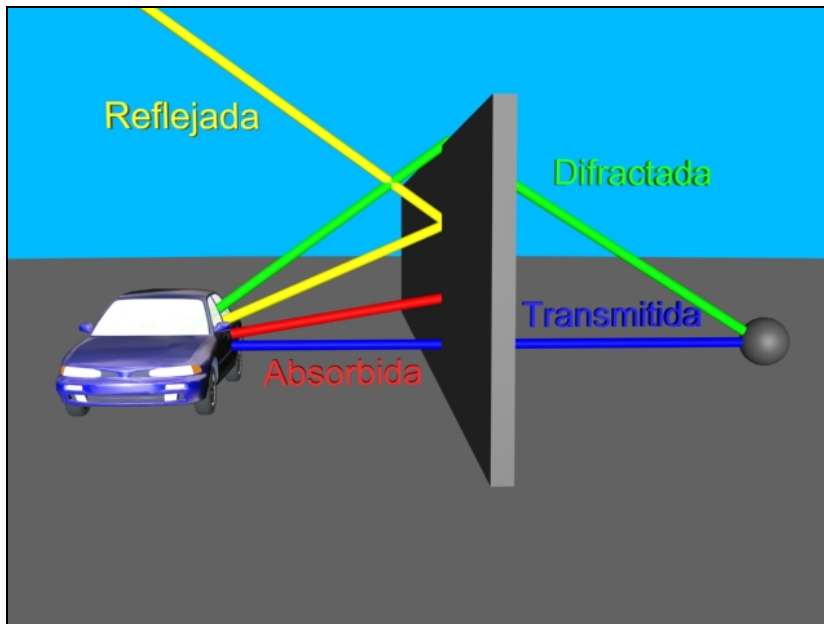
Supongamos que los niveles eran demasiado altos en el primer punto y que se ha decidido emplazar el edificio más alejado, donde los niveles de ruido no superaban los límites. Nuestro diseño sería satisfactorio.

Los años pasan y nuestra carretera tiene cada año un volumen de tráfico más elevado. Volvemos a realizar un análisis de los niveles sonoros en el bloque de pisos que levantamos y los resultados superan lo permitido. En este caso, en que ya no podemos cambiar el emplazamiento de la carretera o del bloque de pisos deberemos recurrir a elementos artificiales que dificulten la propagación del ruido como asfaltos sono-reductores o barreras acústicas, si actuamos sobre la carretera, o de doble cristal para las ventanas o materiales absorbentes para la fachada en caso de actuar sobre la edificación.

En la imagen se aprecia el apantallamiento que sufre el sonido al situar junto a la carretera barreras acústicas.



Con este ejemplo hemos visto claramente el uso y efecto de las barreras acústicas, pero vamos a ver ahora su funcionamiento con más profundidad. En ausencia de una barrera la onda sonora sigue una trayectoria recta que une la fuente y el receptor. Al colocar una barrera este camino se ve alterado y la energía se redistribuye:



- Energía **transmitida** a través de la barrera: la pérdida de energía al atravesar la barrera dependerá del material que la componga. La atenuación viene caracterizada por:

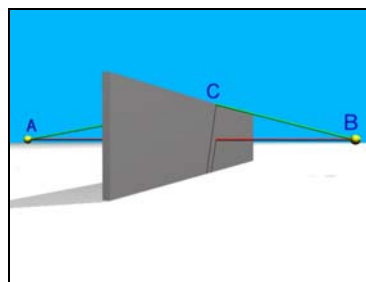
$$R = 10 \cdot \log \left(\frac{I_1}{I_2} \right)$$

Donde I_1 es la energía incidente y I_2 la transmitida.

Las barreras verticales se dividen en dos grandes grupos:

- Paredes simples: formadas por una única pared. Su atenuación va ligada a su masa superficial mediante la ley de masa.
- Paredes dobles: formadas por varios elementos. Su atenuación depende de los elementos que la componen y la distancia que los separa. Un diseño correcto puede aumentar la atenuación respecto a la pared simple con la misma masa superficial.
- **Difracción** de la barrera: fenómeno que sucede cuando una onda choca contra un objeto de dimensiones finitas. En el borde del objeto se produce un reparto de energía, como si apareciera una fuente sonora secundaria en el extremo. Es igual para todos los fenómenos de naturaleza ondulatoria y por tanto podemos pensar en el efecto de un obstáculo sobre la luz. Tendremos una zona

iluminada, en que la atenuación es despreciable, y una zona de transición, de penumbra alrededor del objeto, que en niveles sonoros supone una atenuación de 0 a 5 dB. Finalmente tendremos la zona sombreada, que no tiene visión directa con la luz. En esta zona se llegan a niveles de atenuación de entre 5 y 24 dB. En nuestro diseño deberemos lograr que la zona que deseamos proteger quede completamente comprendida dentro de la zona de sombra. Para el cálculo se utiliza un método empírico que relaciona la atenuación con la diferencia de caminos.



$$L_{ABd} = L_{25d} - 10 \cdot \log \frac{AC + BC}{25}$$

$$L_{ABn} = L_{25n} - 10 \cdot \log \frac{AC + BC}{25}$$

$$L_{totald} = L_{ABd} - A \text{ dB (A)}$$

$$L_{totaln} = L_{ABn} - A \text{ dB (A)}$$

Diferencia de caminos (m)	0.01	0.03	0.06	0.15	0.3	0.6	1.5	3	6
A dB (A)	6	6.5	7	9	11	13	16	17	18.5

La sección de la barrera puede ser un factor importante, ya que una forma redondeada en los extremos puede reducir la difracción, mejorando así el rendimiento de la barrera.

- **Reflexión** de la barrera: cuando una onda sonora choca contra una barrera parte de la energía sale reflejada. La colocación de la barrera atenuará el sonido en la zona protegida, pero puede provocar el aumento en otra zona donde antes no llegaba.

- **Absorción** de la barrera: parte de la energía que penetra en la barrera es absorbida, ya que se disipa en forma de calor al rozar con las partículas que componen la barrera. Los materiales seleccionados deben ser resistentes, ya que las barreras están expuestas a condiciones muy duras. Se escogen materiales que presenten un aislamiento acústico por transmisión superior en, al menos, 10 dB (A) de la atenuación por difracción que ofrece la barrera.

Por tanto, los factores que debemos tener en cuenta para diseñar una barrera técnicamente correcta son:

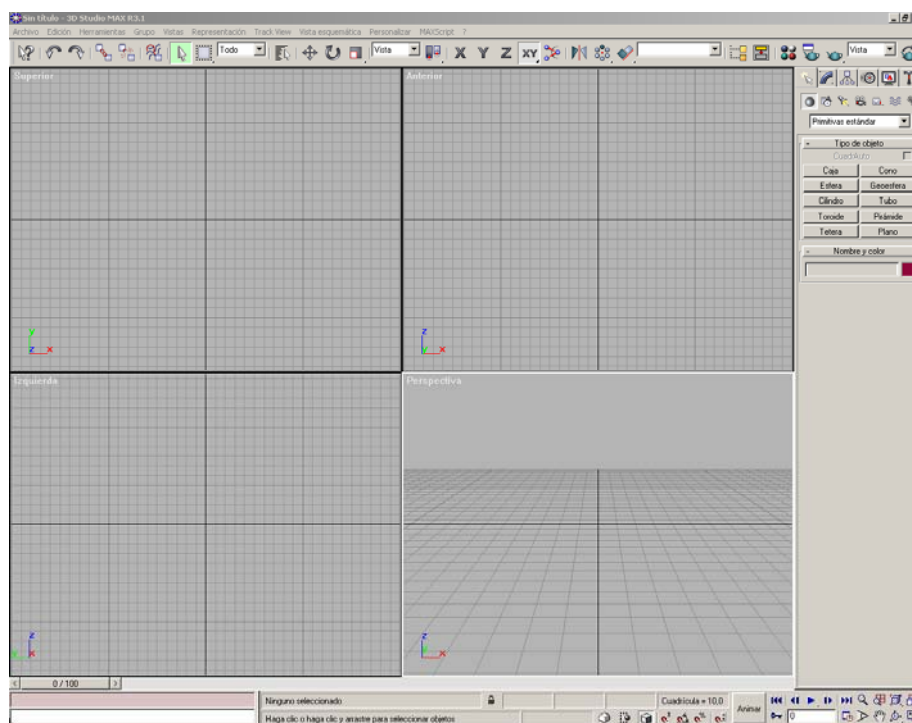
- Altura suficiente.
- Localización correcta.
- Longitud suficiente.
- Evitar reflexiones indeseadas
- Adecuar las interrupciones y extremos de la barrera.

3. Las herramientas

3.1. 3D Studio



Es un potente paquete para el diseño gráfico en tres dimensiones. Es el programa más popular que existe en el mercado gracias a su integridad a equipos informáticos más accesibles a nivel económico, eso si, sin dejar de poder conseguir grandes resultados con un buen conocimiento del programa. Con 3D Studio podremos dibujar, modelar, iluminar, poner materiales y animar de una manera muy sencilla y práctica.



Interfaz del programa

3.1.1. Modelado de la escena

Los objetos de la escena se modelan creando objetos estándares, como formas geométricas 3D y 2D, a los que después se aplican modificadores. Estos modificadores tienen como misión dar un comportamiento determinado al objeto básico para intentar conseguir el modelo deseado, deformará la primitiva estándar. Studio incluye una amplia gama de objetos estándares y modificadores.

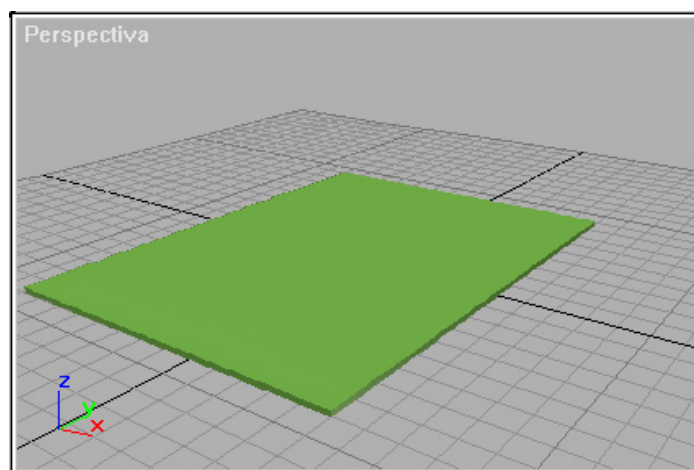
3.1.1.1. Creación de objetos

Para crear objetos se designa una categoría de objetos en el panel Crear y luego se hace clic o arrastra en un visor para establecer los parámetros de creación del objeto. 3DS organiza el panel Crear en siete categorías básicas: Geometría, Formas, Luces, Cámaras, Ayudantes, Efectos especiales y Sistemas, cada una de las cuales suele contener varias subcategorías donde elegir.

En 3D Studio los objetos paramétricos básicos se modelan en otros más complejos así:

- Cambiando parámetros.
- Aplicando modificadores.
- Manipulando directamente la geometría de subobjetos.

El panel Crear contiene controles para crear objetos, el primer paso para construir una escena en 3D Studio. A pesar de la variedad de tipos de objetos, el proceso de creación es igual para todos los objetos. Vamos a crear en este caso un topográfico a partir de una simple caja.



3.1.1.2. Selección y situación de objetos

Los objetos se seleccionan haciendo clic o arrastrando una región en torno a ellos. También se pueden seleccionar por nombre u otras propiedades, como

color o categoría de objeto. Tras seleccionar algunos objetos, se sitúan en la escena mediante las herramientas de transformación Mover, Rotar y Escalar. Para colocarlos con precisión se pueden aprovechar las herramientas de alineación.

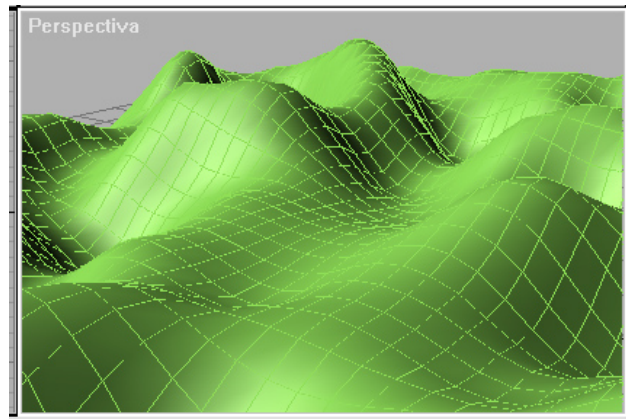
La mayoría de las acciones de 3D Studio se realizan en objetos *seleccionados* de la escena; antes de aplicar un comando debe seleccionar algún elemento en el visor. Por tanto, la selección constituye una etapa esencial en el proceso de modelado y animación.

3.1.1.3. Modificación de objetos

Los objetos se esculpen y editan con su forma definitiva aplicándoles modificadores mediante el panel Modificar. Los modificadores aplicados a un objeto se almacenan en un catálogo, donde se puede retroceder en cualquier momento para cambiar el efecto del modificador o eliminarlo del objeto. El panel Modificar contiene controles para terminar el proceso de modelado. Es posible retocar cualquier objeto, desde sus parámetros de creación hasta su geometría interna. Tanto los modificadores de espacio objeto como los de espacio universal permiten aplicar una amplia gama de efectos a los objetos de la escena. Con el Catálogo de modificaciones se edita la secuencia de modificadores.

En 3D Studio, los modificadores son las herramientas básicas para modelar y remodelar los objetos. Los modificadores pueden clasificarse de dos formas distintas: según actúen sobre topología explícita o paramétricamente, y según el espacio donde actúan. En el último grupo, hay dos tipos básicos: modificadores de espacio objeto y modificadores de espacio universal.

Veamos que le sucede a la caja que creamos si le aplicamos un modificador Ruido.



Hemos conseguido así crear algo semejante a un topográfico a partir de un objeto tan simple como una caja.

3.1.2. Materiales

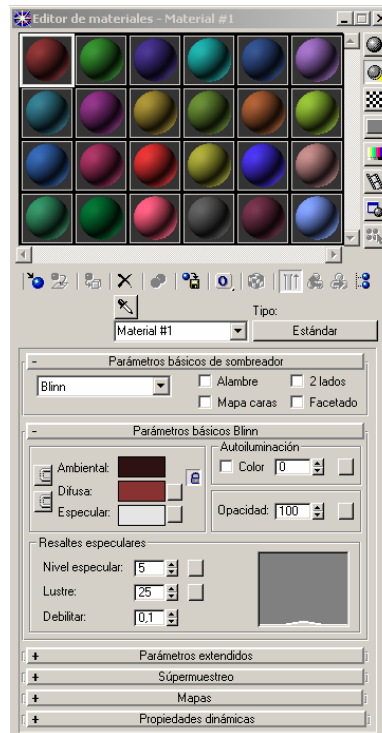
Un material son datos que se asignan a la superficie o las caras de un objeto para que aparezca de cierto modo cuando se representa. Los materiales afectan al color de los objetos, a su brillo, opacidad, etc. Un material estándar está formado por componentes ambiental, difusa y especular. Puede asignar mapas a los diversos componentes de un material estándar.

El material estándar es el predeterminado en las seis ranuras de muestra del Editor de materiales. Sin embargo, puede cambiar el tipo de material en que trabaja presionando el botón Tipo que hay bajo las ranuras de muestra. Así se accede al Visor de materiales/mapas, donde se pueden seleccionar en una lista de tipos de material alternativos.

Los materiales aportan mayor realismo a las escenas y describen cómo reflejan o transmiten luz los objetos. Se asignan materiales a objetos o conjuntos de selección individuales; una misma escena puede contener muchos materiales diferentes.

El Editor de materiales sirve para diseñar materiales y mapas a fin de controlar el aspecto de las superficies de los objetos. Los mapas también se

usan para controlar el aspecto de los efectos ambientales, como iluminación, niebla y fondo.



En el caso de nuestro topográfico podríamos asignarle un material terroso o cubrirlo por un manto de hierba.



Las propiedades básicas de los materiales se definen para controlar características de superficie como el color, brillo y nivel de opacidad predeterminados. Sólo con las propiedades básicas se pueden crear materiales realistas de un solo color. Una superficie de un color "único" suele reflejar

muchos colores. Normalmente, los materiales estándar utilizan un modelo de cuatro colores para simularlo:

- El color ambiental es el color del objeto en la sombra.
- El color difuso es el del objeto con iluminación directa adecuada.
- El color especular es el de los resaltes brillantes.
- El color de filtro es el que transmite la luz cuando atraviesa el objeto.

Para que el componente de color de filtro pueda verse, la opacidad del material debe ser inferior al 100%.

Cuando describimos el color de un objeto en la vida real, solemos referirnos a su color difuso. La elección de un color ambiental depende del tipo de iluminación. Para una iluminación interior moderada, este color puede ser algo más oscuro que el difuso, pero para una iluminación interior brillante y luz natural, debe ser el complementario de la fuente de luz principal (clave). El color especular ha de ser igual que el de la fuente de luz clave o una versión del color difuso con un valor alto de baja saturación.

El realismo de los materiales se mejora aplicando mapas para controlar propiedades de superficie como textura, relieve, opacidad y reflexión. Casi todas las propiedades básicas se pueden mejorar con un mapa. Es posible utilizar como mapa cualquier archivo de imagen, por ejemplo los creados en programas de pintura, o bien elegir mapas de procedimiento que crean patrones basados en los parámetros que se definan.

3DS también incluye un mapa de emisión de rayos (Ray Trace) que permite crear reflexiones y refracciones precisas. Las imágenes que se asignan a los materiales se denominan mapas. En 3DS pueden usarse diversos tipos de mapas, incluidos bitmaps estándar (como archivos *.bmp*, *.jpg* o *.tga*), mapas de procedimiento (como Cuadros o Mármol). Puede asignar mapas a la mayoría de los componentes de un material. Los materiales que contienen una o más imágenes se llaman materiales mapeados. Asignando los mapas a

distintos atributos de los materiales, puede influir en el color, la opacidad o la suavidad de la superficie, y mucho más. Los mapas ofrecen el nivel de realismo apropiado en los materiales. Los distintos tipos de mapa utilizables van desde el bitmap común hasta el mapa de procedimiento flexible. En muchos tipos de mapa, el sistema de representación precisa instrucciones sobre dónde ha de aparecer el mapa en la geometría. Estas instrucciones se llaman coordenadas de mapeado.

3.1.3. Inclusión de luces y cámaras

Las luces nos permitirán crear una iluminación para la escena que simule las condiciones reales del entorno. En el caso de interiores nos permitiría simular lámparas, y en el caso de exteriores la iluminación solar o las farolas de una calle. Las cámaras nos permitirán tener un punto de vista del escenario desde cualquier punto del escenario. La iluminación predeterminada ilumina regularmente toda la escena. Es útil para modelar, pero no resulta demasiado creativa ni realista.

3.1.3.1. Luces

Las luces se crean y colocan mediante la categoría Luces del panel Crear una vez en disposición de controlar la iluminación de la escena. 3DS ofrece tres tipos de luces: omnidireccionales, direccionales y focos. Es posible asignar cualquier color a una luz e incluso animarlo para simular luces difuminadas o que cambian de color. Todas ellas pueden proyectar sombras o mapas y usar efectos volumétricos.

3.1.3.2. Utilización de las luces

En general, éstos son los motivos por los cuales se utilizan los objetos de luz de 3D Studio:

- Para mejorar la iluminación de una escena.

- Es posible que la iluminación predeterminada en los visores de 3DS no sea lo suficientemente fuerte o no ilumine todas las caras de un objeto complicado.
- Para mejorar el realismo de una escena mediante efectos de iluminación realistas.
- Para mejorar el realismo de una escena con luces que proyecten sombras
- Todas las luces pueden proyectar sombras. Además, puede controlar de forma selectiva si un objeto proyecta o recibe sombras.
- Para realizar proyecciones en una escena.
- Todos los tipos de luces pueden proyectar mapas fijos o animados.
- Para facilitar el modelado de una fuente de iluminación en la escena, como una linterna.

3.1.3.3. Visualización de los efectos luminosos en la escena

Al incluir luces en una escena, la iluminación predeterminada se apaga y se encienden las luces que se han creado. La iluminación que se percibe en un visor es sólo una aproximación de la real. La iluminación se ve con precisión al representar la escena. Es lo mismo que al poner los materiales, el nivel gráfico del visor no es suficiente para representar todo el efecto de la iluminación que puede producir en todas las superficies de la escena. Por lo tanto, hay que tener en cuenta que lo que vemos en el visor sólo es una aproximación del resultado final y que para cualquier modificación de las luces tenemos que recurrir a la representación de la escena para ver el resultado. Esta representación de la escena también se denomina render.

3.1.3.4. Cámaras

Las cámaras se crean y colocan mediante la categoría Cámaras del panel Crear. Las cámaras definen puntos de vista para representar y pueden animarse a fin de conseguir efectos cinemáticos, como travelín y paralelo.

Las cámaras presentan una escena desde un determinado punto de vista. Mediante un visor de cámara, podemos ajustar la cámara como si estuviera mirando por el objetivo de la misma. Los visores de cámara son útiles para editar geometría y para configurar una escena con el fin de representarla. La utilización de varias cámaras puede proporcionar distintas vistas de la misma escena.

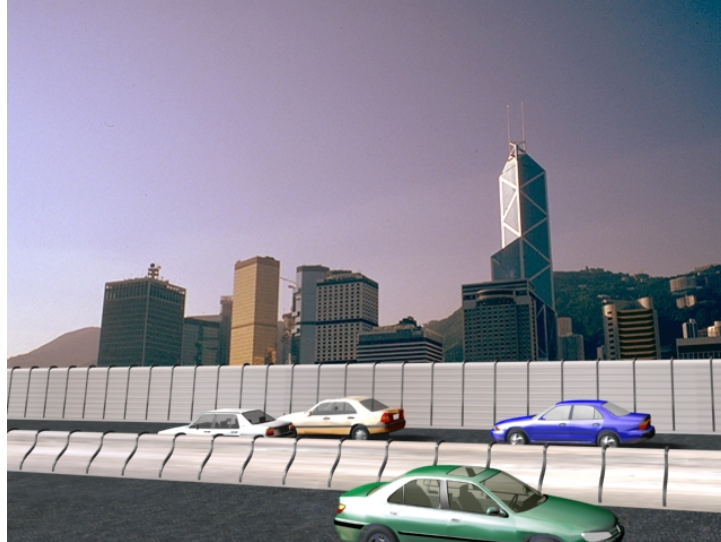
Si deseamos animar el punto de vista en sí, deberemos crear una cámara y animar su posición. Imaginemos el caso en el que deseemos desplazarnos a lo largo de una carretera para ver el impacto visual que supone la colocación de unas barreras acústicas.

Hay dos tipos de cámaras en 3DS:

- Las cámaras libres: ven el área en la dirección a la que apuntan. Las cámaras libres son más sencillas de utilizar cuando se anima su posición por un recorrido; pueden peraltarse mientras se mueven por él, lo que no es posible en las cámaras con objetivo.
- Las cámaras de recorrido: ven el área alrededor de un objeto de destino u objetivo que se crea a la vez que la cámara. Las cámaras con objetivo resultan más fáciles de usar cuando no siguen un recorrido.

En la siguiente imagen podemos comprobar cual sería el impacto visual de la colocación de una barrera acústica junto a una calzada. Para la creación de esta se han utilizado la mayoría de elementos comentados anteriormente. Se han generado unos objetos a partir de formas 2D o directamente formas 3D. También se han importado algunos objetos, como los vehículos. Sería recomendable tener una librería de modelos que pudiéramos añadir a la escena y darle así más realismo. En este caso nos permite tener una idea de las dimensiones de la barrera.

También se han usado materiales, para texturizar el asfalto, los coches, etc... Finalmente hemos procedido a iluminar la escena y colocar una cámara de la cual hemos renderizado la vista.



3.2. AutoCAD

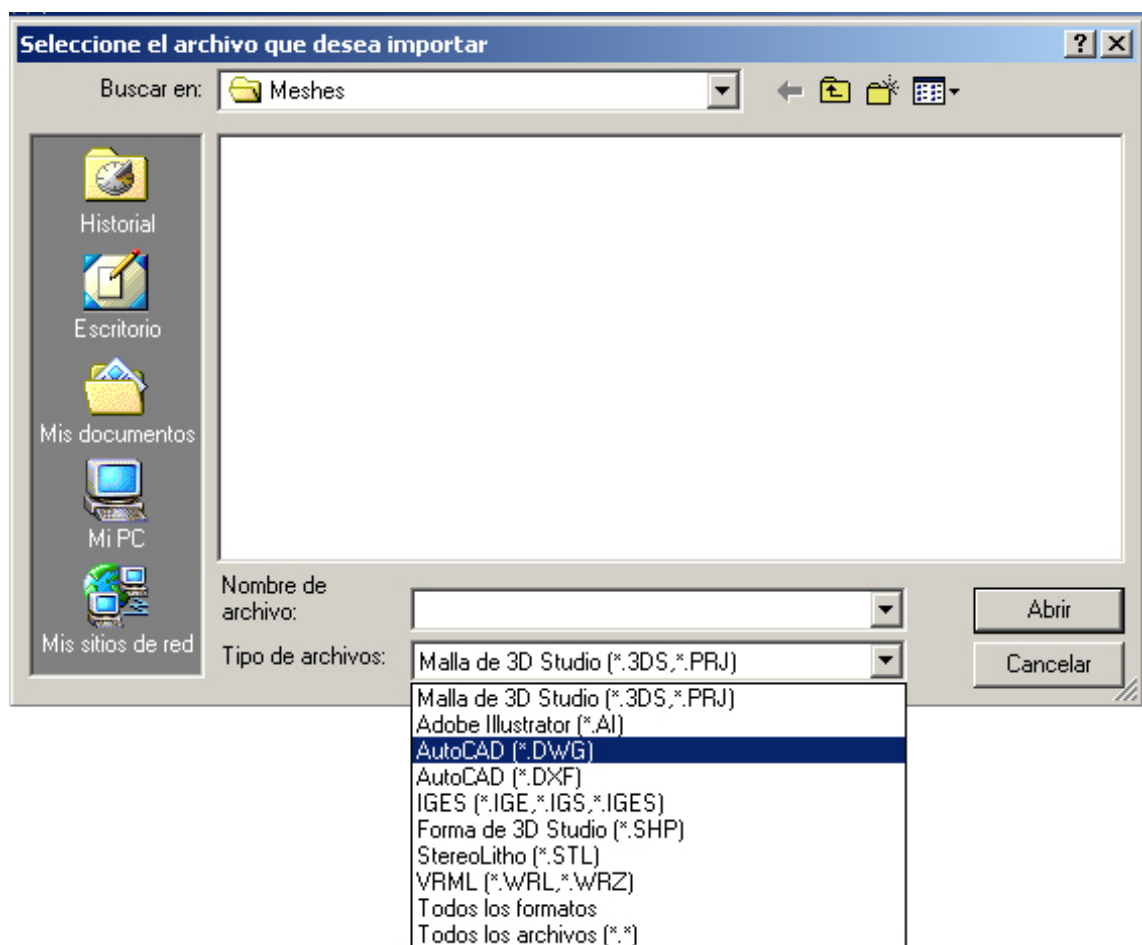
AutoCAD es la herramienta por excelencia en el diseño asistido por ordenador. Mediante esta herramienta podemos construir cualquier objeto en 2 y 3 dimensiones.

No hablaremos de esta aplicación con tanta profundidad como se ha hecho con 3D Studio, pero sí se debe hacer mención a ella como un posible origen desde el cual llegar al modelado de la escena que analizaremos acústicamente.

AutoCAD es una herramienta muy vinculada al mundo del diseño industrial y arquitectónico, que permite dibujar con suma precisión. Al provenir esta aplicación y la de 3D Studio de un mismo fabricante (Discreet es una división de Autodesk) la posibilidad de intercambio de archivos en el sentido AutoCAD hacia 3D Studio es total. Así, nos encontraremos a menudo con el caso de un

diseño realizado en AutoCAD, que se lleva a 3D Studio. En el caso de ser un dibujo en 2D deberemos proceder a convertirlo en algo tridimensional con los modificadores pertinentes. Si ya es un modelo 3D tan sólo deberemos proceder a texturizar, iluminar y renderizar para obtener un resultado visual.

La siguiente imagen muestra el cuadro de diálogo que aparece en la versión MAX de 3D Studio 3, y que nos permite importar archivos de otros formatos, entre ellos el dwg de AutoCAD.



En la versión VIZ las facilidades son aún mayores para conseguir este traslado desde una aplicación a otra. VIZ es una versión de 3D Studio más cercana al entorno del AutoCAD y por tanto las facilidades serán mayores. Tendremos la posibilidad de incrustar un dibujo, pero también de vincularlo. La vinculación presenta la ventaja de que en caso de realizar alguna modificación

en el archivo original, el archivo vinculado se actualizará de manera automática.

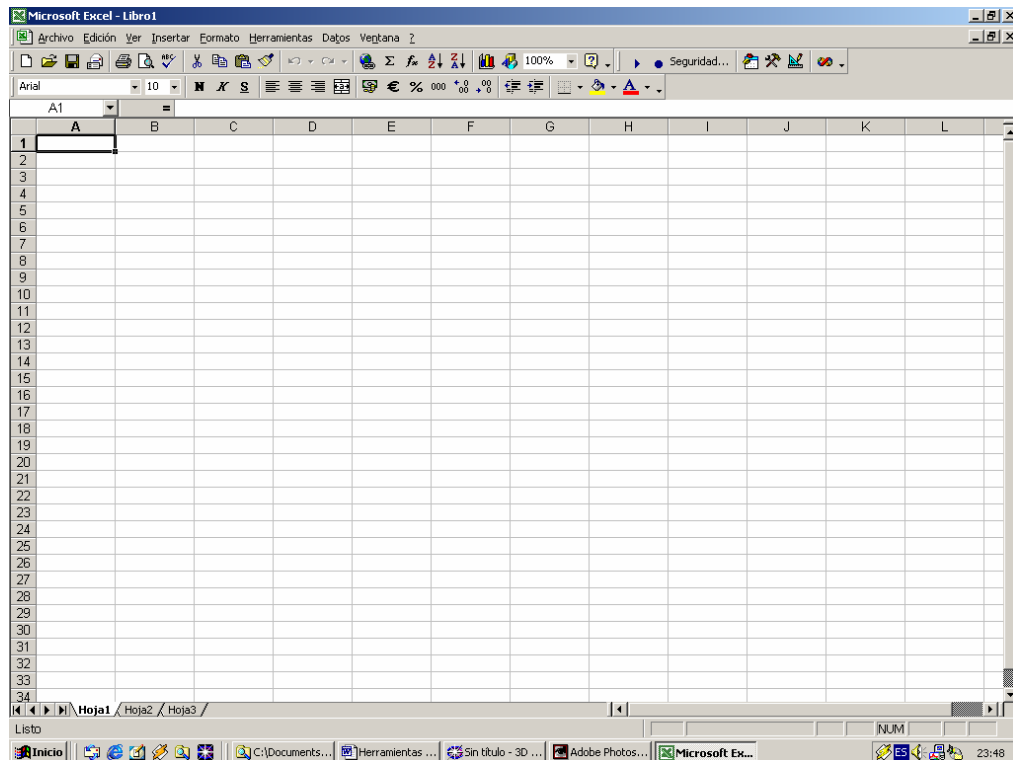
3.3. Microsoft Excel. Automatización OLE



Excel es una aplicación de la familia Microsoft Office. Al igual que las otras aplicaciones escogidas para la implementación de este proyecto este programa ocupa un lugar hegemónico dentro de su campo en el mercado de la informática empresarial y doméstica. Se trata de una hoja de cálculo, y esta nomenclatura es realmente apropiada ya que como ahora veremos la estructura de trabajo que utilizaremos es similar a la de un libro.

3.3.1. Funcionamiento básico de Excel como hoja de cálculo

Cuando hablemos de un archivo de Excel (xls) podremos referirnos a él como si de un libro se tratase, y de hecho el programa utilizará esta nomenclatura. Tendremos un libro que contiene unas hojas, inicialmente tres, pero que pueden llegar a 256, y en cada una de ellas un entramado de celdas donde realizaremos los cálculos que deseemos. Este será el aspecto que presentará una hoja en blanco de un libro.



En la parte inferior izquierda de la hoja de cálculo podemos ver unas pequeñas pestañas. Cada una de ellas corresponde a una de las páginas que componen nuestro libro. La simple pulsación con el ratón sobre esa pestaña nos llevará a la hoja en concreto. Evidentemente podremos crear más hojas y añadirlas al libro. Encontraremos esta opción en el menú que aparece si pulsamos el botón derecho del ratón. Las diferentes opciones de ese menú nos permitirán mover las hojas, cambiar su nombre o simplemente eliminarlas.

La mayor parte de la pantalla está ocupado por una matriz de celdas. La celda será la unidad básica sobre la cual trabajará Excel. En una celda podremos poner cualquier dato, ya sea numérico, como de otro tipo. Evidentemente los cálculos tan sólo podrán ser posibles con números. En cada celda sólo podremos tener un solo dato.

Para cada celda podremos definir sus propiedades. Así, por ejemplo, podremos ajustar el número de decimales que queremos para la representación del cálculo o darle formatos concretos a la información, como

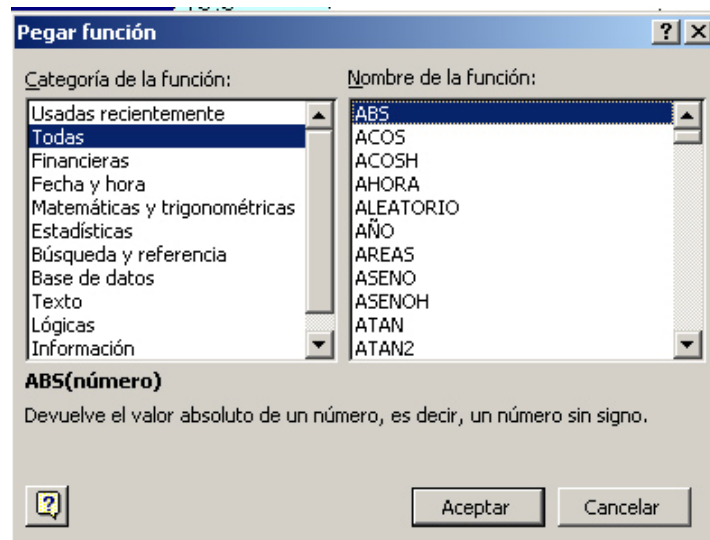
seleccionar la moneda con la que estamos trabajando en nuestras cuentas o escoger el formato con que presentamos una fecha.

También será posible configurar las opciones visuales de una celda, como la fuente, color, bordes, etc... Esto será especialmente útil en una hoja que contenga muchos datos y cuya lectura sea difícil de comprender. El uso de bordes para separar datos de diferentes tipos o códigos de colores para identificar rápidamente el tipo de dato que contiene la celda.

	S	T	U	V
Velocidad vehículos ligeros (Km/h)	100,0	L25día(0) (dB(A))	L25noche(0) (dB(A))	
Velocidad vehículos pesados (Km/h)	80,0	70,5	66,3	
L _{kw} (dB)	48,1	L25d (dB(A))	L25n (dB(A))	
L _{pkw} (dB)	34,8	70,8	66,6	
L _d (dB)	13,3			
Porcentaje de vehículos pesados	20,0			
Incremento L _v	0,3			

En una celda podremos escribir un texto, datos numéricos, etc... pero no hay que olvidar que el fin último del programa es el de realizar cálculos y por tanto también podremos introducir fórmulas. Incluso en este aspecto sigue vigente la estructura de celdas, ya que en las fórmulas las variables no serán más que punteros a determinadas celdas. Esto significa que deberemos introducir los valores de las variables en unas determinadas celdas para obtener el resultado en otra.

La inserción de funciones será realmente fácil con la ayuda de los asistentes que incorpora el programa, y que nos pedirá paso a paso todo lo que necesitemos para utilizar funciones matemáticas, lógicas y de cualquier otro tipo que deseemos utilizar en nuestras fórmulas.



3.3.2. Utilización de una hoja de Excel como base de datos

Aunque el cometido de trabajar con bases de datos es una tarea más propia de otra aplicación de Office como es Access con Excel también podremos crear tablas donde almacenar datos. Como ya hemos visto en una celda podemos introducir texto, y aunque el mayor poderío del programa se presenta en la operativa numérica, también podremos trabajar con cadenas de caracteres. Así, podremos crearnos pequeñas bases de datos, que contengan cálculos y donde después podremos buscar resultados concretos mediante opciones bastante simples de filtrado.

3.3.3. VBA en Excel. Macros

Excel, al igual que otras aplicaciones de Office incorpora un editor de Visual Basic. Hay que especificar que se trata de VBA (Visual Basic para Aplicaciones), que presenta algunas limitaciones respecto al lenguaje de programación Visual Basic.

Excel permite la creación de lo que se conoce como Macros. Una macro nos permitirá, por norma general, automatizar tareas repetitivas que realizamos de forma habitual y crear una rutina que ejecute de una vez y tantas veces

como sea necesario ese proceso repetitivo. Podemos incluso crear un botón y añadirlo al interfaz del programa para tener más a mano su utilización.

El código responsable de esta automatización no será otro que Visual Basic para Aplicaciones

3.3.4. Automatización OLE

OLE es una tecnología de integración de aplicaciones que permite el intercambio de manera sencilla de datos entre ellas. Todas las herramientas que comprenden la familia Office son compatibles con OLE, lo cual permite la fácil incrustación y vinculación de archivos entre todas ellas.

3D Studio es también una aplicación compatible con esta tecnología, hecho que aprovecharemos para establecer un fluido tráfico de datos entre una aplicación y otra con el fin de que una pueda suplir las carencias de la otra. En el siguiente capítulo se tratará el lenguaje de programación utilizado para la creación del plug-in: MAXScript. Podemos avanzar ya que una de las limitaciones de este lenguaje de programación será en el ámbito del cálculo. Es ahí donde aparece Excel como herramienta ideal para superar ese punto flaco.

La automatización OLE permitirá que una de las dos aplicaciones actúe como administradora y que la otra sea un simple cliente que realizará las tareas que le sean asignadas por el administrador. El administrador será el que solicite la creación del vínculo con una aplicación compatible. El cliente realizará el cometido que le sea encomendado pero en ningún momento emitirá órdenes.

En el capítulo referente a la aplicación se explicará con más detalle el proceso necesario para el establecimiento del vínculo entre las dos aplicaciones y cómo es el diálogo una vez establecido.

La utilización de este vínculo sorprende por la facilidad que supone a la hora de trabajar ya que una vez realizado nos permitirá referirnos a la hoja de

cálculo de Excel como si se tratara de un objeto más del entorno de programación de MAXScript.

4. El lenguaje: MAXScript

4.1. ¿Qué es MAXScript?

Es el lenguaje general de generación de guiones de 3DS. Se trata de un lenguaje orientado a objetos (P.O.O). El lenguaje MAXScript ha sido especialmente diseñado para complementar 3D Studio. Permite automatizar muchas tareas, incluidas modelado, animación, construcción de materiales y representación. MAXScript también puede emplearse para añadir persianas de paneles de comandos personalizadas a la interfaz de 3DS.

El lenguaje interpretado MAXScript, integrado en el corazón del programa 3D Studio, es el análogo del AutoLISP de AutoCAD ó el MEL de MAYA. En la versión 3 de 3D Studio ha sufrido una excelente transformación, pudiendo crear macros de métodos repetitivos, e integrarlos en cualquier parte de la interfaz del programa, ya sea en controles (como los de Visual Basic), métodos abreviados de teclado, menú del cursor personalizado, etc.

Con MAXScript puede arrastrar y soltar texto sobre cualquier ficha de herramientas para crear botones Macro Script. Podemos seleccionar texto desde cualquier ventana de texto, como la ventana de Oyente de MAXScript o el Notepad de Windows, y arrastrarlo a cualquier barra de herramientas. Por lo tanto podremos grabar acciones con la Grabadora de macros y posteriormente arrastrar ese texto hasta cualquier barra de herramientas para crear el botón con las acciones grabadas, pudiendo hasta personalizar el icono del botón y crear nuestra propia barra de herramientas.

4.2. Funcionalidad

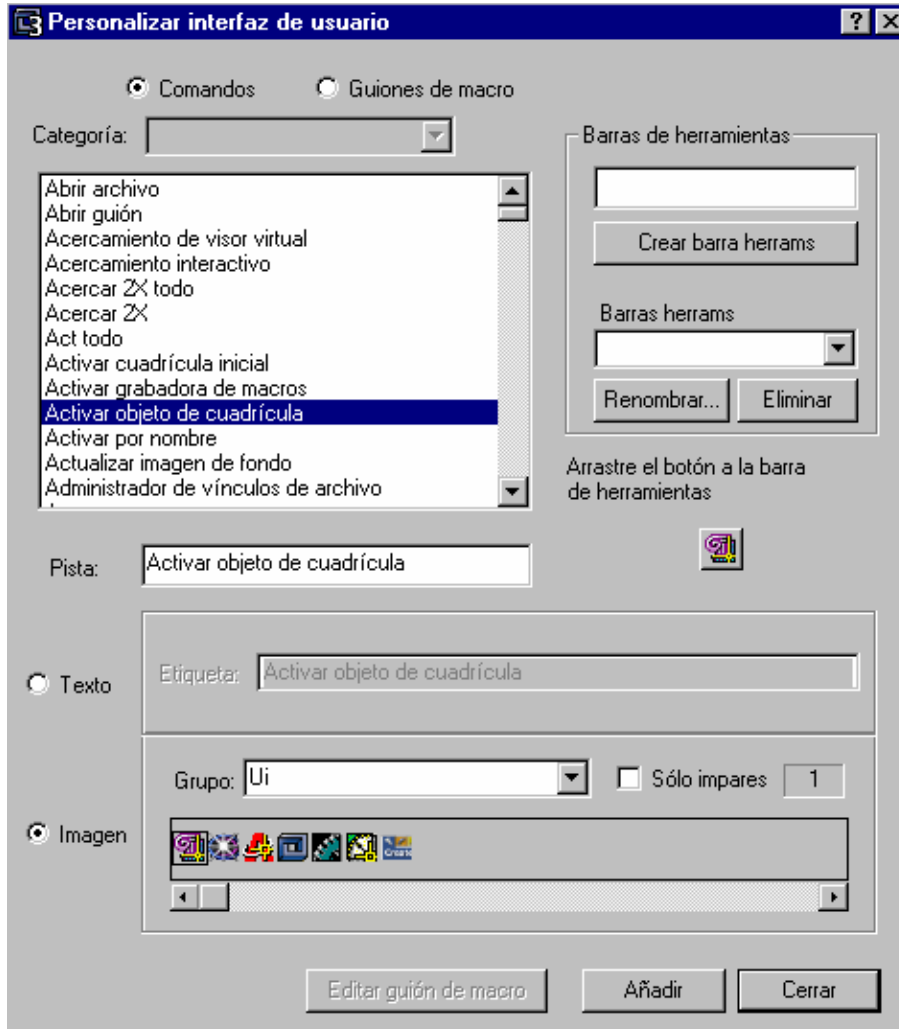
La funcionalidad que permite MAXScript es enorme; a continuación, se resaltan diferentes aspectos a tener en cuenta:

- El tema de la automatización con MAXScript, no requiere ningún conocimiento previo de programación.
- Interacción directa sobre la escena abierta, similar a la línea de comandos de AutoCAD.
- Comunicación vía OLE con herramientas tales como Visual Basic y Excel.
- La verificación del script es simple, teniendo que evaluar el script (o líneas de código sueltas, a modo de Debugger), sin necesidad de compilar, ejecutar, etc. Que requieren otros lenguajes de programación como C ó C++.
- Posibilidad de grabar los pasos a realizar in situ, con la Grabadora de Macros incorporada, al estilo de las Acciones de Adobe Photoshop.
- Asociación de scripts a escenas determinadas.
- Creación de diferentes configuraciones CUI (Custom User Interface), conmutando entre ellas sin necesidad de reiniciar el programa.
- Personalización de los dibujos de los iconos.
- Animación por Keyframing automática.
- Posibilidad de encriptar los scripts realizados.

De todos modos, la gran productividad de MAXScript es la posibilidad de asignar ese grupo de instrucciones a un botón (personalizable), e incluir éste en una interfaz personalizada, para opcionalmente guardarla como CUI (Custom User Interface).

Con MAXScript puede arrastrar y soltar texto sobre cualquier ficha de herramientas para crear botones Macro Script. Podemos seleccionar texto desde cualquier ventana de texto, como la ventana de Oyente de MAXScript o el Notepad de Windows, y arrastrarlo a cualquier barra de herramientas. Por lo tanto podremos grabar acciones con la Grabadora de macros y posteriormente

arrastrar ese texto hasta cualquier barra de herramientas para crear el botón con las acciones grabadas, pudiendo hasta personalizar el icono del botón y crear nuestra propia barra de herramientas.



Si a la enorme flexibilidad que permite esta personalización del entorno de trabajo, se le añade la posibilidad de parametrizar un grupo de instrucciones bajo un solo clic de mouse o una combinación de teclado (por ejemplo para poder apagar, encender, o tratar todas las luces de una escena a la vez), disponemos de una poderosa herramienta de programación (y personalización), que en la mayoría de los casos evita al usuario el tener que programar con Visual C++ para realizar Plugins, tarea bastante ardua y lenta para una persona que no disponga de unos conocimientos profundos acerca de la programación con C ó C++.

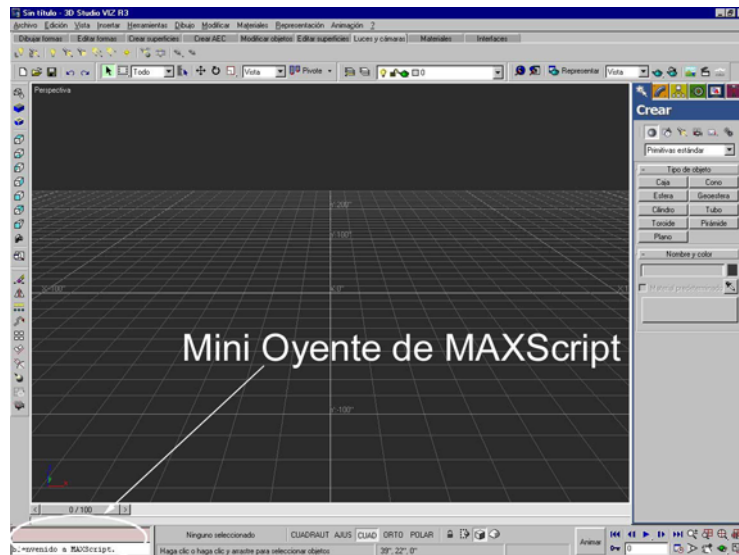
4.3. Oyente de MAXScript

La ventana Oyente de MAXScript es un intérprete interactivo del lenguaje MAXScript que funciona de forma similar a una ventana de interfaz de comandos de DOS. Los comandos de MAXScript se introducen en esta ventana y, al presionar ENTRAR, se ejecutan inmediatamente.

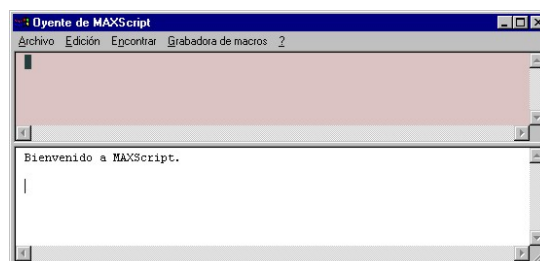
La ventana Oyente es apropiada para realizar tareas interactivas y desarrollar fragmentos de código pequeños. Todos los comandos que se ejecutan en el Oyente son de hecho una expresión con resultado que el Oyente genera tras cada ejecución. Puede introducir cualquier expresión o subexpresión de MAXScript en el Oyente para evaluarla y éste generará el resultado.

En 3D Studio VIZ R3 y 3D Studio MAX R3 se ha facilitado la localización de MAXScript para aprovechar de forma más rápida la automatización. En la parte inferior izquierda de la interfaz del programa, aparece una línea de comandos denominada como Mini Oyente de MAXScript, la cual está formada por la línea de Grabadora de macros de color rosado y otra entrada de color blanco donde se ejecutan instrucciones sueltas, a modo de Debugger.

El Mini Oyente es dimensionable, y puede no estar visible. Si es así arrastre la barra divisora vertical que hay en el borde izquierdo del panel de estado para mostrar el Mini Oyente.



Si pulsa con el botón derecho del ratón en cualquiera de las dos entradas del Mini Oyente de MAXScript, aparecerá un cuadro de diálogo que permite abrir la ventana flotante en la interfaz del programa, llamada Oyente de MAXScript. El Mini Oyente de MAXScript es exactamente lo mismo que el Oyente de MAXScript, aunque el primero solamente nos muestra la última línea de código tecleada. De todos modos puede seguir abriendo el Oyente como en las anteriores versiones, a través del panel de comandos Utilidades, la opción MAXScript.



El Mini Oyente actúa como ventana deslizante de una sola línea para la línea actual en la correspondiente sección del Oyente. El Mini Oyente siempre muestra lo que se está escribiendo o la posición en que se encuentra el cursor en las secciones del Oyente. Recíprocamente, cualquier texto tecleado en el

Mini Oyente se introduce en la sección correspondiente del Oyente en la posición actual del cursor de edición.

El Oyente está dividido en dos partes. La parte superior (rosada) es la Grabadora de macros y la parte inferior (blanca) es la salida. Cuando se activa la Grabadora de macros, todo lo que se grabe aparece en la sección Grabadora de macros. El resultado de los guiones se muestra en la sección de salida. La salida de código ejecutado en la Grabadora de macros siempre se dirige a la sección de salida para no interferir con las grabaciones. Puede cortar y pegar, arrastrar y soltar, editar, seleccionar y ejecutar código en cualquiera de las secciones. También puede cambiar el tamaño de las secciones arrastrando la barra que las divide.

4.4. Grabadora de macros

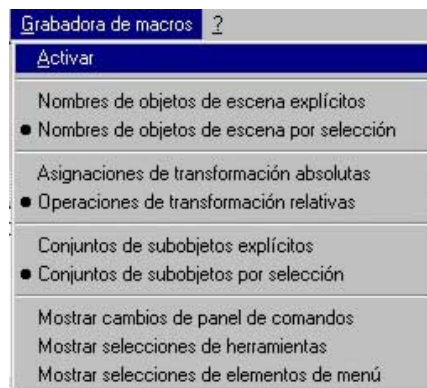
La Grabadora de macros de MAXScript captura muchas de las acciones realizadas por el usuario y genera los comandos de MAXScript correspondientes a esas acciones. La salida de la Grabadora de macros aparece en la sección Grabadora de macros de la ventana Oyente de MAXScript. Dispone de varias opciones de filtración que controlan los tipos de acciones de usuario que se graban, si los comandos de MAXScript generados contienen referencias explícitas a objetos o son relativos a secciones, y si contienen transformaciones y coordenadas explícitas o relativas. Estas opciones se definen en el menú Grabadora de macros de la ventana Oyente. Los parámetros predeterminados se especifican en la página MAXScript del cuadro de diálogo Preferencias de 3D Studio, como se explica en el tema [Configuración de preferencias de MAXScript](#). Estos parámetros también pueden cambiarse o definirse editando la sección [MAXScript] del archivo *3dsmax.ini*.

Aunque muchas áreas de 3DS generan datos de Grabadora de macros, también hay bastantes que no lo hacen. En general, la mayoría de los botones de las barras de menús, herramientas, estado y los paneles Crear y Modificar generan salida de Grabadora de macros. Si el botón accede a un cuadro de diálogo secundario, el cambio de parámetros o la ejecución de acciones en el cuadro de diálogo secundario no suelen generar salida de Grabadora de macros. En los paneles Crear y Modificar se genera salida de Grabadora de macros si el objeto o modificador puede crearse con MAXScript. En algunos casos, los módulos plug in que implementan un objeto o modificador no se han actualizado para ser compatibles con la Grabadora de macros, por lo que ese objeto o modificador no genera salida de Grabadora de macros.

MAXScript admite arrastrar y soltar texto en las barras de herramientas para crear botones de guiones de macro. Puede seleccionar y arrastrar texto desde cualquier ventana de texto, como las secciones de la ventana Oyente o las ventanas del Editor, a cualquier barra de herramientas visible. El cursor adopta forma de flecha con signo + cuando se puede soltar el texto. Si lo

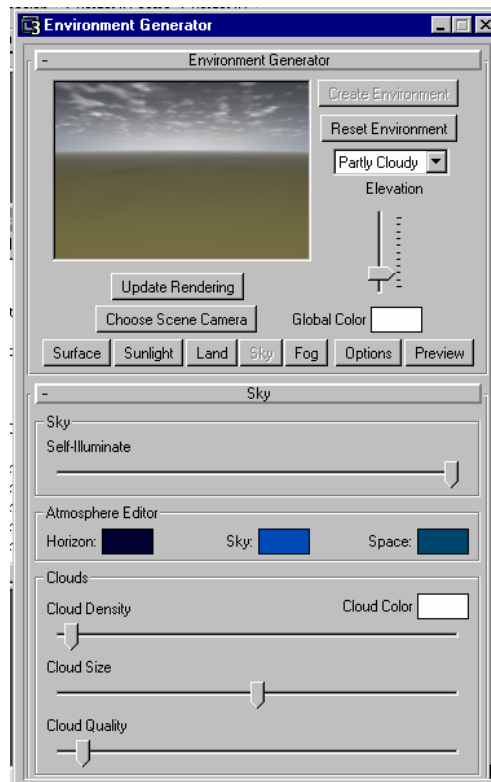
suelta, se añade a la barra de herramientas un botón de guión de macro con el texto soltado como cuerpo del guión de macro. El ejemplo clásico es arrastrar texto de la Grabadora de macros a una barra de herramientas para crear un botón que efectúa la secuencia de sucesos recién grabada.

La Grabadora de macros de MAXScript captura muchas de las acciones realizadas por el usuario, y genera las instrucciones en MAXScript que corresponden a esas acciones. De esta forma no tenemos que teclear código, sino que una vez activada la Grabadora de macros solamente se tienen que realizar en el visor las acciones que queramos, e iremos viendo que en el área rosada de la grabadora se irá generando el código en MAXScript de todo lo que vamos haciendo. Hay varias opciones para filtrar el tipo de acciones a grabar, localizables en el menú superior Grabadora de macros de la ventana Oyente de MAXScript.



4.5. Ejemplos

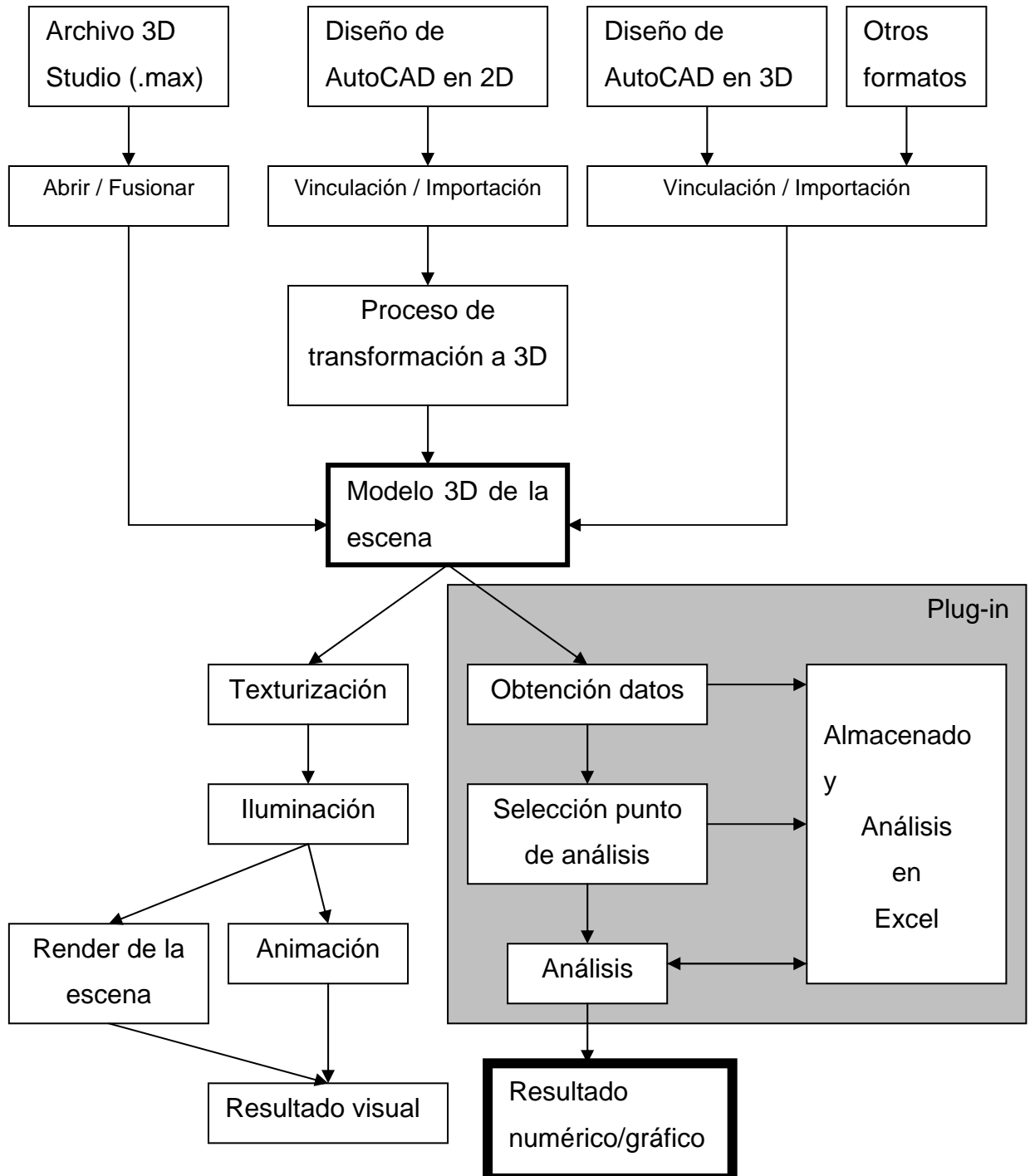
Como ejemplos de MAXScripts, se puede mencionar el Generador de Entornos (ya incorporado con 3D Studio en la carpeta con ejemplos de MAXScript) que puede sernos muy útil para crear un escenario paisajístico en que estará integrado el diseño a analizar. Hará más atractivo el resultado visual final.



También encontramos un asistente para crear recorridos de cámaras (también incorporado en el corazón del programa) que facilita el hecho de crear el típico recorrido interior ó exterior, sin necesidad de asignar controlador alguno (ya lo hace MAXScript por nosotros).

5. La aplicación

5.1. Esquema de la aplicación



5.2. Punto de partida

El punto de partida de este proyecto, como podemos comprobar en el esquema, no es único. De hecho, cuando se comentaron las herramientas utilizadas en este proyecto ya se dejaron entrever algunos de los posibles orígenes de nuestro diseño.

El más evidente y sencillo sería el caso de estar trabajando con un archivo modelado en 3D Studio:

- un escenario acabado de crear con las herramientas de modelado explicadas en la sección 3.
- un archivo guardado con extensión max.

Otra herramienta que nombramos en el capítulo 3 fue AutoCAD. El plug-in creado en este proyecto no actuará con esa aplicación, pero sí se ha creído conveniente su mención ya que será un punto de partida habitual.

Como ya vemos en el esquema, si empezamos con un archivo de AutoCAD tendremos que contemplar el caso de que se trate de un dibujo 2D. La eficacia del análisis de este plug-in actuando sobre 3D Studio necesita de objetos tridimensionales para hacer el estudio. Será por tanto necesario convertir esas formas 2D en objetos con volumen. Los modificadores Extruir, Torno y Solevado nos permitirán realizar esta transformación. En el caso de venir de un dibujo de AutoCAD en tres dimensiones no será necesario este paso.

Finalmente, en el esquema se ha añadido un bloque más, contemplando la posibilidad de proceder de otros formatos no comentados aquí.

```
Malla de 3D Studio (*.3DS,*.PRJ)
Adobe Illustrator (*.AI)
AutoCAD (*.DWG)
AutoCAD (*.DXF)
IGES (*.IGE,*.IGS,*.IGES)
Forma de 3D Studio (*.SHP)
StereoLitho (*.STL)
VRML (*.WRL,*.VRZ)
```

Los más significativos serían el formato 3DS, que también es un formato propio de 3D Studio, o WRL, perteneciente a un archivo de Realidad Virtual.

Al iniciar la aplicación encontraremos ya un grupo de botones que nos permitirá seleccionar de una forma cómoda cualquiera de todas estas opciones que acabamos de ver.



- **Abrir:** carga un archivo con extensión max.
- **Importar:** permite incrustar en 3D Studio algunos tipos de archivos que no le son propios.
- **Fusionar:** añade objetos a la escena de otros archivos de 3D Studio sin eliminar por ello los ya existentes. Esta opción será ideal para añadir vehículos, casas, modelos de barreras acústicas que ya tengamos modelados previamente.

5.3. Unidades físicas y escalas

Una vez llegados a este punto ya debemos tener en los visores de 3D Studio el modelo tridimensional de la escena que vamos a analizar.

Debemos mirar hacia delante y pensar que es lo que va a suceder en breve. En primer lugar vamos a seleccionar los objetos de la escena que deberemos considerar como fuentes. Después ajustaremos los parámetros de cada una de ellas y finalmente, tras haber marcado en el espacio 3D el punto de medida, realizaremos el análisis. El éxito de los cálculos se basa en la facilidad de 3D Studio para tratar con objetos situados en el espacio, es decir, para tratar con las coordenadas x, y, z.

Si ahora echamos la vista hacia toda la teoría en que se basa el análisis a realizar y examinamos meticulosamente las ecuaciones utilizadas veremos que en casi todas ellas trabajamos con distancias de la fuente al receptor, diferencia de caminos, etc. Todo este elenco de datos lo sacaremos a base de calcular la distancia entre puntos concretos de la escena (simplemente tratamos con datos x , y , z).

Después de haber puesto atención en todo esto vemos que el tema de las unidades en que se encuentre diseñada la escena serán un dato vital, ya que los métodos de análisis suponen las distancias en metros. No podemos dar por hecho que el diseño tridimensional esté en estas unidades, ni siquiera que se haya realizado en unidades del sistema decimal. Como una de las intenciones del plug-in es ser utilizable por el mayor número de usuarios posible debemos contemplar la posibilidad que se hayan usado como unidades de diseño pulgadas, pies, yardas o millas.

Evidentemente la unidad con la que se realizarán los cálculos seguirá siendo el metro, pero ahora que conocemos las unidades originales podremos aplicar un factor de escala para corregir este hecho.

Una primera idea fue la de utilizar el modificador Escalar para aumentar o disminuir la escena en función del factor de escala y obtener así las distancias directamente en metros. Esta propuesta se desestimó por dos motivos:

- Mediante código se debía centrar el pivote de todos los objetos de la escena, lo cual no era precisamente fácil.
- Una de las máximas de la aplicación es no modificar nada del archivo original. Si su diseñador le ha dado unas medidas, unos nombres, etc. deberemos respetarlo y no modificar nada.

Así pues, lo que haremos será conservar el factor de escala en una variable y tenerlo en cuenta después a la hora de hacer los cálculos con Excel.

Conseguimos así respetar los requisitos del modelo de análisis acústico y, al mismo tiempo, no modificar la escena.

El usuario encontrará en el flotante de la aplicación el siguiente grupo de botones. El valor por defecto sería metros.



5.4. Vínculo con Microsoft Excel y su utilización como motor de cálculo

Estamos cerca de empezar a seleccionar, de entre todos los objetos que pueblan la escena, aquellos que son fuentes de sonido. Ya hemos dicho que una de las premisas de la herramienta es no modificar en ningún aspecto el archivo original, así que si queremos identificar de algún modo los orígenes del sonido no podremos tocar ni el nombre ni ninguna otra de las propiedades de ese objeto.

La solución escogida es la creación paralela de una pequeña base de datos donde iremos guardando toda esta información. Esta base de datos paralela será una hoja de Excel.

¿Por qué una hoja de Excel? Realmente puede asaltarnos esta pregunta cuando vemos que lo que inicialmente pretendemos es crear una pequeña base de datos. ¿Por qué no utilizar Acces?

El criterio fundamental para escoger Excel radica en las dificultades que aparecen para la realización de cálculos con MAXScript. Excel será suficiente

para tratar con una pequeña base de datos y además nos permitirá su uso como motor de cálculo.

Llega el momento de aprovechar las ventajas de la tecnología OLE. 3D Studio creará en este momento un vínculo con un libro de Excel. La petición de este vínculo le situará como administrador dentro de la jerarquía que se crea, mientras que Microsoft Excel pasará a ser el cliente.

El establecimiento de este vínculo provoca la ejecución de Excel, pero en principio esta ejecución se hace en un segundo plano. Si no decimos lo contrario Excel se ejecutará sin llegar a hacerse visible, provocando que el usuario ni tan sólo note su presencia.

Obviamente, una hoja de cálculo presentará una disposición que si se estructura bien se prestará para un posible análisis de los cálculos intermedios y seguimiento paso a paso del método. Por tanto deberemos facilitar el acceso del usuario a estos archivos (xls).

xl = CreateOLEObject "excel.application"

Esta será la línea de código responsable de la creación del vínculo OLE.

xl.Visible = true

La utilización de esta línea hará visible la ventana de Microsoft Excel.

xl.Workbooks.Open "A:\anacus.xls"

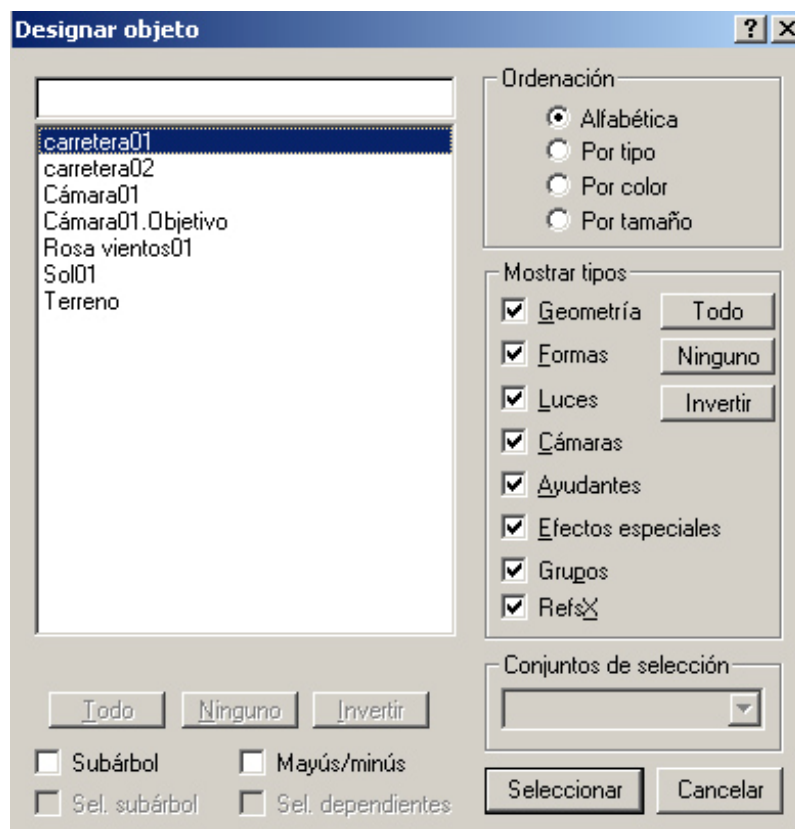
Para finalizar con las referencias a líneas de código en MAXScript debemos mencionar esta. Su uso permite abrir el libro de Excel "A:\ anacus.xls". Su interés radica en que parte de su estructura es lenguaje Visual Basic. Es una instrucción que Excel, al tener su editor de VBA, es capaz de interpretar y

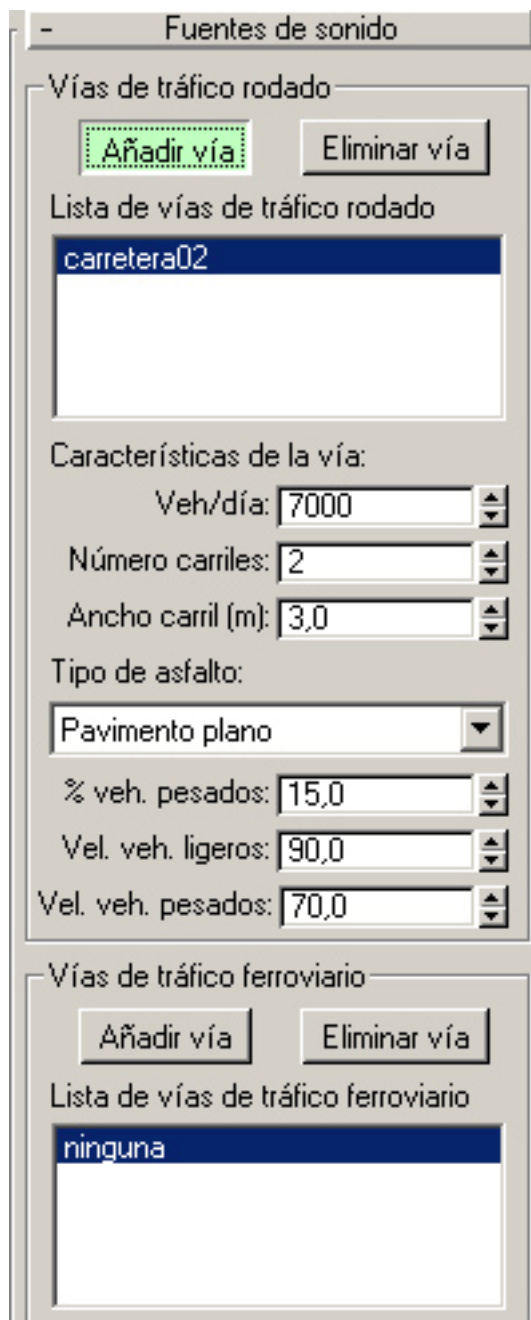
ejecutar satisfactoriamente. El proceso de abrir una hoja concreta de cálculo con otros métodos había resultado infructuoso hasta el momento.

5.5. Clasificación de fuentes sonoras por tipos

En principio los dos tipos de fuentes que podremos encontrar en un escenario podrán ser fuentes de tráfico rodado y de tráfico ferroviario. A priori ninguno de los objetos de la escena emitirá ningún nivel sonoro y tendrá que ser el usuario quien vaya indicando qué objetos de la escena son fuentes y de qué tipo.

Esta selección se realizará mediante el uso de un Pickbutton; herramienta frecuentemente utilizada en 3D Studio cuando queremos seleccionar algún objeto de la escena con algún fin. Obviamente la selección se podrá realizar mediante un clic de ratón sobre el objeto en el visor, o desde el cuadro de dialogo Designar Objeto. Al realizar la selección la fuente se añadirá a una lista y también a la base de datos.





En la lista de cada tipo de fuente aparecerán los objetos de la escena que hayamos seleccionado como tales. En caso de error podremos eliminar el elemento que queramos de la lista seleccionándolo y pulsando el botón de Eliminar vía.

Debajo de la lista aparecerán un conjunto de spinners donde podremos ajustar los parámetros que describen a esa fuente de sonido. Estos son los

parámetros que guardaremos en la base de datos, y que necesitaremos para realizar los cálculos de los niveles de ruido.

5.6. Almacenaje de parámetros en la base de datos

Todos las características de una fuente sonora deberán ser conservadas para su posterior consulta. Estos parámetros pueden ser almacenados en variables del programa pero esto supondría que al cerrar la aplicación sus valores se perdieran, y que por tanto, si queremos seguir en otro momento con este diseño, deberemos iniciar el proceso desde cero. Esto no sería grave en una escena con pocas fuentes, pero la incomodidad sería importante en el caso de tener muchas de cada tipo.

Una de las ventajas de almacenar los datos en la hoja de cálculo será el hecho de tener un archivo con datos que podremos guardar y abrir paralelamente sin afectar al modelo 3D y que contenga todos los parámetros de los que hablábamos.

```
xlc = xl.application.cells 1 1  
xlc.value = 123.45
```

Los comandos necesarios para escribir, en este caso, o leer de una celda de la hoja serán como se muestra en estas líneas. Esta instrucción pone la celda 1 1 en la variable *xlc* para posteriormente ajustar su valor.

Veamos como podría quedar la hoja después de seleccionar como fuente sonora la "carretera02".

Ponderaciones							
Frecuencia (Hz)	31,5	63	125	250	500	1000	2000
A	-39	-26	-16	-8	-3	0	1
B	-17	-9	-4	-1	0	0	0
C	-3	-1	0	0	0	0	0

Tipo de asfalto	Incremento Lf
Asfalto colado liso	0
Asfalto colado de hormigón	2
Pavimento plano	3
Pavimento rugoso	6

Distancia en metros al cruce	Incremento Lc
Hasta 40 m	3
de 40 a 70 m	2
de 70 a 100 m	1
más de 100 m	0

Fuentes de tráfico rodado								
Nombre	IMD(Vehiculos/día)	Núm. carriles	Ancho carril (m)	Tipo de asfalto	% pesados	Vel. ligeros (Km/h)	Vel. pesados (Km/h)	M (V)
carretera02	7000	2	3	Pavimento plano	15	90	70	

Podemos ver como la carretera02 se ha añadido a la lista de fuentes de tráfico rodado y los parámetros que la caracterizan se han almacenado junto al nombre. Estos parámetros aparecen en las casillas de color verde.

Para una más sencilla comprensión de la estructura de la información en la hoja se ha utilizado un código de colores que nos indicará además si podemos o no cambiar el valor. Así, por ejemplo, aparecen en rojo las celdas con datos que el usuario no debe modificar, ya que son celdas que contienen datos de referencias fijas, como ponderaciones, correcciones, etc. o porque contienen una fórmula.

Al mismo tiempo también podemos utilizar los colores para resaltar resultados. En este caso, automáticamente al introducir los datos de la carretera02 obtendremos, según las ecuaciones del modelo RLS los niveles generados a 25 metros para el día y la noche.

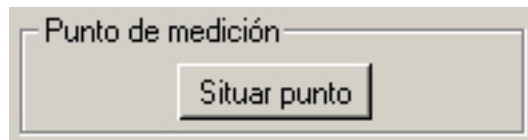
L_f	L_p	$L_{25día(0)}$ (dB(A))	$L_{25noche(0)}$ (dB(A))	L_{25d} (dB(A))	L_{25n} (dB(A))	
0	3	0	68,2	59,2	70,6	61,6

El flujo de datos no siempre será en el sentido 3D Studio a Excel, sino que los resultados seguirán el camino inverso, para su posterior análisis.

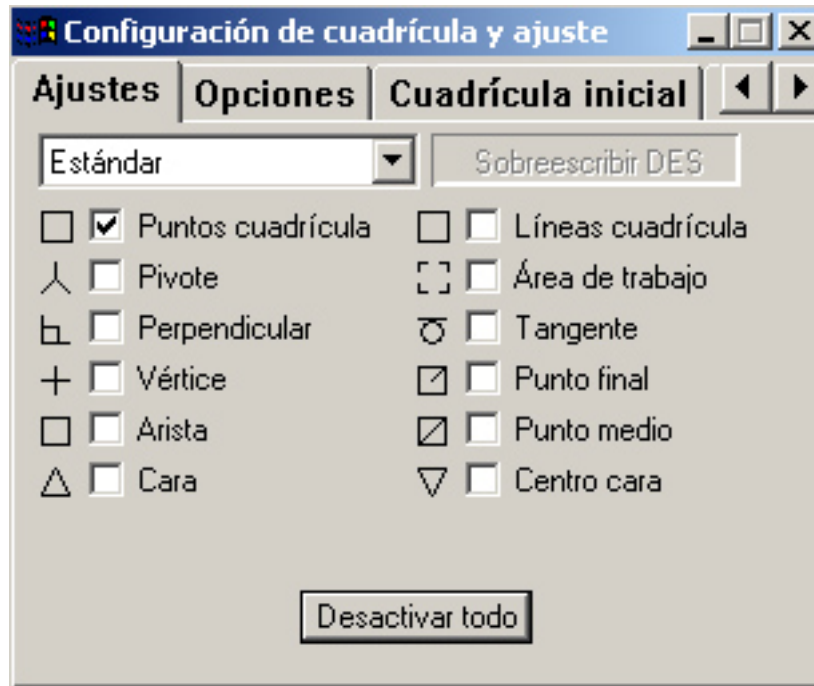
5.7. Elección del punto de análisis

Como se ha visto repetidas veces a lo largo de la memoria, lo que necesitaremos para hacer los cálculos serán frecuentemente distancias. Para lograrlas observaremos la distancia que existe entre dos puntos del modelo 3D.

Resulta de especial utilidad el ayudante de tipo punto que utiliza 3D Studio. El usuario podrá colocar en cualquier situación del espacio 3D el punto para indicar el lugar en que se desea analizar los niveles de ruido. La colocación se realizará con el siguiente botón colocado en el flotante de la aplicación.



La colocación de un punto de análisis supondrá la eliminación de otro anterior. Su colocación en la escena coincidirá con la activación de los Snaps o ajustes. Esto nos permitirá colocar el punto sobre referencias concretas de la escena, como vértices, puntos de cuadrícula, etc. dependiendo lo que se seleccione en el cuadro de diálogo de configuración.



5.8. Análisis

Para iniciar el análisis precisaremos de la presencia de un punto de medida. Si éste ya existe procederemos a ir calculando el nivel que provoca en ese punto cada una de las fuentes sonoras. Una vez más volveremos a utilizar el ayudante de tipo punto.

En cada uno de las fuentes deberemos ver cual es el punto más cercano al punto de medida. Para ello se utilizará una función que nos retorna el vértice más cercano de un objeto a un punto. Cabe considerar la posibilidad que tengamos un objeto con muy pocos vértices y que, por tanto, obtengamos un punto que quizás no es el más cercano. Habría que considerar la posibilidad de realizar procesos de suavizado para objetos con muy pocos vértices.

Una vez conozcamos el vértice en cuestión podremos emplazar en ese punto del espacio un ayudante punto que utilizaremos como referencia para medir la distancia.

Para comprobar la existencia de obstáculos que dificulten la propagación del sonido trazaremos un rayo que parta del punto origen y viaje en dirección al punto seleccionado para el análisis.

Si el rayo colisiona con algún objeto deberemos averiguar cual es el camino que permite sortear el obstáculo, con el fin de encontrar la diferencia de caminos entre la trayectoria directa que une los dos puntos y el camino que el frente de onda ha tenido que trazar para superar el obstáculo.

6. Conclusiones y líneas futuras

La realización de este proyecto ha supuesto una importante tarea de documentación y aprendizaje de las dos grandes temáticas sobre las que se edifica: la acústica medioambiental y 3D Studio en su faceta de programación.

Basándose en los conceptos vistos de manera bastante superficial en la asignatura de acústica de recintos, cursada en el tercer curso de la ingeniería técnica de telecomunicaciones, se ha profundizado en ellos y se han ampliado. Ha sido así hasta el punto de llegar a implementar los métodos y modelos que se ven en otra asignatura, acústica medioambiental, de quinto curso, y que todavía no he cursado.

Paralelamente, el esfuerzo para el conocimiento del lenguaje de programación de 3D Studio ha sido también importante, siendo éste quizás el principal obstáculo que se tuvo que superar para conseguir los objetivos marcados. Los conocimientos previos sobre esta materia eran muy limitados, y la escasa información escrita sobre este lenguaje hizo vital el uso de la ayuda del programa y las colaboraciones conseguidas en foros de esta temática en Internet. Así, debido a la falta de tutoriales y manuales del lenguaje MAXScript, por ser un lenguaje restringido a un pequeño número de personas, el proceso de aprendizaje ha sido muy autodidacta.

Al mismo tiempo, el hecho de utilizar la programación sobre 3D Studio me ha supuesto conocer muchísimo mejor el funcionamiento interno de una aplicación que utilizo frecuentemente a nivel de usuario. Ver como almacena la información, que parámetros usa y que código se está ejecutando cuando un usuario pulsa con el ratón en algo.

De todos modos, no todo han sido facilidades con este lenguaje. En el camino hacia la consecución del proyecto se han encontrado callejones sin salida. Algunas cosas no son realizables con código, cuando sí lo son a través del diseño normal con el ratón.

En el largo proceso de realización del proyecto han ido surgiendo ideas que han podido ser llevadas a cabo en algunos casos, o que se han quedado en el tintero en otros. Uno de los retos conseguidos fue el hecho de lograr, mediante la automatización OLE, abrir una hoja de cálculo preexistente. Este hecho, a priori sencillo e insignificante, ha provocado dolores de cabeza a más de un proyectista que ha trabajado en este campo.

Entre las cosas que se han quedado en el camino está lo que fue la idea original de este proyecto: realizar un plug-in para el análisis acústico de salas. Esto, y algunas otras cosas podrían ser planteadas como líneas de futuro que se pueden seguir tras la finalización de este proyecto.

La idea primigenia se desestimó tras unos meses ya que suponía la implementación en el lenguaje MAXScript de una función de trazado de rayos, con el fin de implementar la teoría acústica geométrica para el análisis y simulación de salas acústicas. Ahora, tras haber conseguido más experiencia en el arte de programar en el lenguaje de 3D Studio, esa opción se plantearía como una línea de futuro, porque pese a su dificultad, debería poder ser realizable.

Otras líneas de futuro supondrían la mejora de la herramienta de análisis de exteriores que se ha diseñado en este proyecto. Algunas de ellas podrían ser:

- Inclusión de bibliotecas que incluyan los elementos más frecuentes en una escena a analizar: micrófonos, altavoces, fuentes de sonido (Coches, trenes, ...). Esto permitiría mejorar la representación visual del impacto de lo que se ha diseñado.
- Obtención de resultados visuales que nos permitan ver de manera gráfica cómo radia una fuente, el efecto de los obstáculos, etc... Esta representación podría ser, tanto un render sencillo, como toda una animación.
- La posibilidad de tener en cuenta las vibraciones producidas por el paso de trenes subterráneos o metros.
- El cálculo del nivel provocado por el paso de aviones.

Bibliografía

- **Robert Barti** (1999), “**Acústica de Recintes**”.
Servicio de Apuntes Ingeniería i Arquitectura La Salle
- **Lluís Faus** (1998), “**Acústica mediambiental**”
Servicio de Apuntes Ingeniería i Arquitectura La Salle
- Documentación del Master de Acústica Medioambiental (MAAM)
- Documentación del Master en Control de Edificios y Arquitectura Sostenible (MCEAS).

Ayudas on-line:

- 3D Studio
- MAXScript
- Excel
- VBA de Excel

Páginas web:

- <http://support.discreet.com/>
- www.backgraf.qc.ca
- www.mtsu.edu/~a_e_s/microphone/studio.htm
- www.wavearts.com/index.htm
- www.softamp.com/new_home.html
- www.3dup.com/index_eng.shtml
- www.maxplugins.de/index2.shtml
- www.gfxcentral.com/bobo/