

# PREDICCIÓN DEL RUIDO DE AERONAVES

*Autor:* Eva María Játiva Casanova

*Director1:* Jesús Alba Fernández

*Director2:* Eva María Escuder Silla

*Resumen* —Los problemas de contaminación acústica provocados por el transporte aéreo se han venido incrementando en las últimas décadas debido, por un lado, a la aproximación de las ciudades a los aeropuertos y, por otro, al aumento de tráfico regular de pasajeros, mercancías y vuelos charter, que operan de noche en muchas ocasiones. Además, existe un problema añadido al no incluirse en la regulación, los aviones militares, los helicópteros, ultraligeros y los aviones supersónicos. Por esto, cada vez son más las protecciones que se proponen para evitar que el ruido producido por los aeropuertos afecte en las vidas de los ciudadanos. Pero no sólo en los aeropuertos generan el ruido los aviones, sino que éstos sobrevuelan a baja altura en muchos otros puntos de población no tan cerca de los aeropuertos, o incluso dependiendo del tipo de avión, aunque esté en una altitud muy elevada y haya un punto de población muy alejado de un aeropuerto, pueden resultar molestos. Por todo esto, se comienza a estudiar no sólo el impacto acústico en el momento de una medida, o el control acústico del aeropuerto, sino predicciones de ruido estudiando la ruta de un cierto avión y proponiendo medidas correctoras en los puntos de población que esté afectando negativamente este ruido, se encuentre donde se encuentre. Para ello se utilizan software como el que se explica en este documento, el INM 7.0.

*Abstract* —Noise pollution problems caused by air transport have been increasing in recent decades due, on one hand, to the approximation of cities to the airports, and on the other hand, to the increase of passengers, freight and charter flights, that usually operate at night. In addition, not including, military aircraft, helicopters, ultra light and supersonic aircraft in the regulation causes another problem. For this reason, the protections that are being proposed to avoid the noise produced by airports affecting in people lives are increasing every day. But not only airports generate noise aircraft, aircrafts orbit at low altitude in many other points of population not so near airports. Even, depending on the type of aircraft, even though the aircraft is in a very high altitude and has a very far population point from an airport, can be annoying. For this reason, it begins to study not only the acoustic impact at the airport, it begins to predict noise, studying the path of a

Autor: Eva María Játiva Casanova email: [evjaca@upvnet.upv.es](mailto:evjaca@upvnet.upv.es)

Fecha de entrega: 30-11-2009

certain aircraft and proposing corrective measures at population points that is negatively affecting noise, is where you are. As discussed in this document, INM 7.0 software is used for this.

## **ÍNDICE**

<b>I. Ruido en aeropuertos .....</b>	<b>3</b>
<b>II. Software INM 7.0 .....</b>	<b>8</b>
<b>III. Aplicación de un caso práctico.....</b>	<b>23</b>
<b>IV. Conclusiones .....</b>	<b>31</b>
<b>V. Líneas futuras de investigación .....</b>	<b>32</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>33</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>34</b>
<b>Anexo I: Aplicaciones relacionadas con el software INM 7.0 .....</b>	<b>35</b>
<b>Anexo II: Documentación en la que se basan los cálculos del modelo INM .....</b>	<b>38</b>
<b>Anexo III: Bases de datos del software INM 7.0 .....</b>	<b>39</b>

## I. RUIDO EN AEROPUERTOS

La mayoría de operaciones aeroportuarias son generadoras de ruido, pero sin lugar a duda el ruido con más importancia es el que generan las aeronaves. Esto es, por una parte, por el ruido de los motores ya sean turboreactores o turbopropulsores, aunque como se ve en la figura 1, según el tipo de motor que tenga el avión, el nivel de presión sonora generado puede ser mayor.

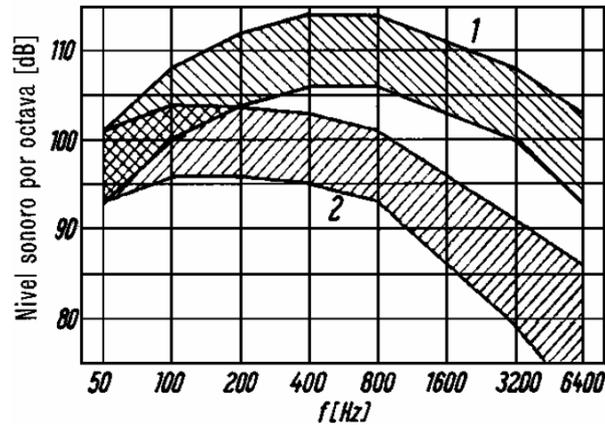


Fig.1. Rango característico del nivel de presión sonora en función de la frecuencia, para aviones a reacción (1) y aviones de hélice tetramotores (2). Perfil de despegue para una altura de vuelo de 150m.

A parte de los motores, los aviones tienen otras partes generadoras de ruido, y algunas se convierten en ello al desplazarse de su posición inicial, como por ejemplo los *splitters*, *alerones* o *flaps*, está estudiado que cuando éstos se colocan en posición de vuelo se produce un efecto de resonancia debido al scattering de los mismos[1].

Por otro lado, el ruido de los aviones en la mayoría de los casos no es lineal por lo que según ciertos estudios que se han realizado por el método aproximado en el dominio de la frecuencia y por el método en el dominio del tiempo, se sacan una serie de curiosas conclusiones, por ejemplo que los niveles sonoros a larga distancia predichos con un método no lineal son menores que los que se predicen por el método lineal, también que con el mismo espectro la diferencia de que el ruido sea lineal o no depende del producto del nivel sonoro y el valor en la frecuencia donde se empieza a medir, entre otros[2].

Para la certificación del ruido emitido por las aeronaves, se realizan evaluaciones en tres puntos críticos de la operación, en el despegue, aterrizaje y en una línea de referencia de la pista. Los puntos mínimos de certificación se muestra en la figura 2.

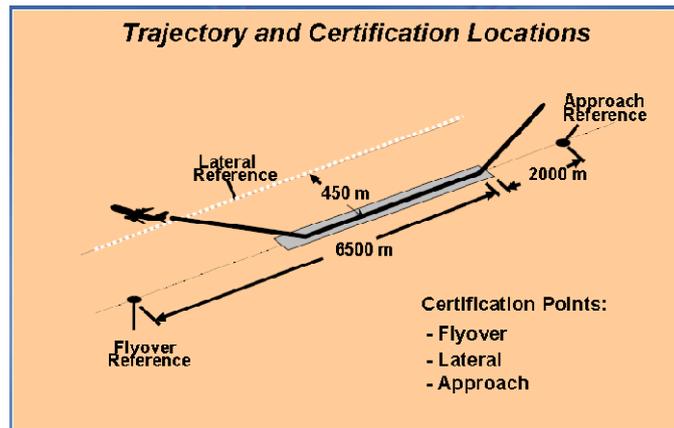


Fig.2. Puntos de certificación mínimos

Por otro lado, los diagramas de directividad son un ensayo importante, ya que cada uno es único para cada aeronave, se miden por tanto los niveles de emisión sonora para cuatro regímenes de potencia, obteniéndose una serie de curvas. Este ensayo servirá de base para otro diagrama, el de las curvas NPD que se explican más adelante en este mismo documento.

Sabiendo los diferentes aspectos que pueden ocasionar la molestia tanto de los aeropuertos como de los aviones que operan en ellos, se trata de cuantificar todos los efectos en un parámetro para poder decidir si es o no molesto, comparar datos... Si se consultan los documentos de la FAA (Federal Aviation Administration) se deja notar que los índices y escalas más utilizados son el nivel sonoro con ponderación y el nivel de ruido percibido efectivo (EPNL), el proceso de cálculo del valor de los índices de medida, se realiza de forma similar en todos los puntos de la malla que se haya definido. Los niveles de ruido generados para cada operación en cada punto de la malla, se obtienen mediante integración de los diferentes resultados por cada segmento, con la aplicación de algoritmos en los que intervienen todos los datos del avión, sus operaciones y distancias al punto de toma de muestras de la malla creada.

Dichos niveles se corrigen mediante algoritmos que reflejan la incidencia de la atenuación lateral, y a partir de éstos se aplica la expresión del índice de exposición deseado, obteniéndose el valor para cada uno de los puntos de la malla.

Por ejemplo el nivel de ruido percibido efectivo se calcula en 5 pasos que se van a esquematizar e ilustrar en este documento [3].

Para cada medio segundo de muestreo, el SPL (Sound pressure level, nivel de presión sonora) se convierte en PNL (nivel de ruido percibido).

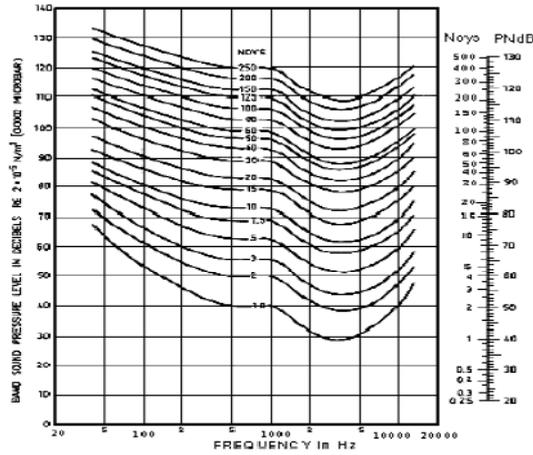


Fig.3. Conversión del SPL en PNL

Se calcula después la corrección tonal, a la que llamamos C.

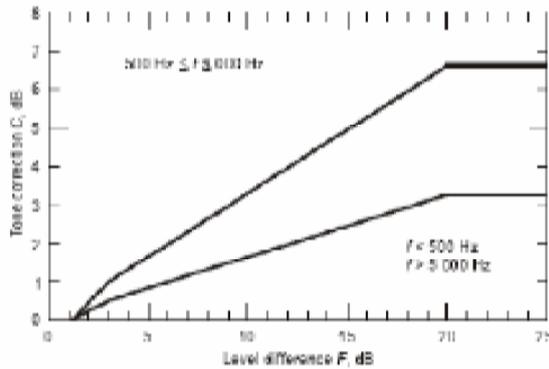


Fig.4. Corrección tonal

Una vez se tiene PNL y C,

$$PNLT = PNL + C \tag{1}$$

que es el ruido percibido por tono, para el vuelo completo. Ahora se calcula la corrección por la duración,

$$D = 10 \log \left[ \left( \frac{1}{T} \right) \sum_{k=0}^{d/\Delta t} \Delta t \cdot \text{antilog} \frac{PNLT(k)}{10} \right] - PNLTM \tag{2}$$

donde T=10s y Δt=0.5s.

Por último con esta corrección se realiza un último cálculo,

$$EPNL = PNLTM + D \tag{3}$$

donde PNLTM es el nivel máximo de ruido percibido (PNLTM= max {PNL(k)}).

La ley 37/2003 del Ruido y el Real Decreto 1513/2005 establecen en España la obligatoriedad de realizar mapas estratégicos de ruido en los grandes aeropuertos [4]. Para cumplir estas exigencias los estudios se estructuran de forma que se primero se describe de una manera general la zona de estudio, se desarrolla una metodología seguida para la evaluación de niveles sonoros (explicando el modelo empleado y los escenarios de simulación representados) y se obtendrán los

mapas abordando el proceso de obtención de los mismos. Todo esto se sintetizará al final con unas conclusiones delimitando las “zonas de conflicto”.

La Directiva 2002/49 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental establece los métodos de cálculo en función de la fuente. En el caso de ruido de aeronaves remite al documento 29 de ECAC.CEAC (1997), como metodología de referencia. Uno de los modelos de cálculo informático que cumple con las especificaciones es el INM (Integrated Noise Model). El software que utiliza este modelo es el INM 7.0 el cual es la versión más novedosa en el momento. En el Ministerio del Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, se creó el Sistema Básico de Información sobre la Contaminación Acústica (S.I.C.A.), actualmente en este se encuentran los mapas estratégicos de ruido, entre ellos, los de los aeropuertos más grandes de España. Uno de ellos es el de Valencia, y en él se explica cómo se calcula mediante el método INM los contornos acústicos del mismo, los puntos de población más afectados, y todos los puntos que la directiva exige. En la figura 5, se muestra como se introducen ilustraciones de las zonas más afectadas con sus niveles sonoros.

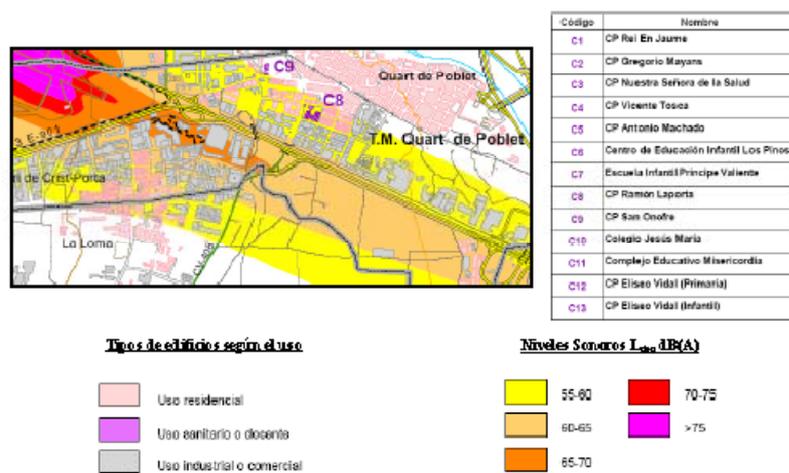


Fig.5. Resultados del indicador  $L_{den}$  sobre la localidad de Quart de Poblet y Barri de Crist-Porta

Pero no solo en España se utiliza este método, en Pudong, a 30km de Shanghai (China), el proyecto de la construcción de la tercera pista de vuelo del aeropuerto “Pudong International Airport” para la *World Expo 2010* de Shanghai, se ha realizado mediante el método INM [5]. El método INM imita de manera precisa el comportamiento de un aeropuerto y las trayectorias dinámicas de los vuelos. Los contornos del aeropuerto de las 3 pistas, teniendo en cuenta los vuelos de todo un año, se muestran en la figura 6, además con estos contornos se pueden visualizar de forma rápida los puntos de población afectada, que en este caso *Xuean Village*, está por encima de los 80dB, pero no hay ningún punto de población que supere los 85dB.

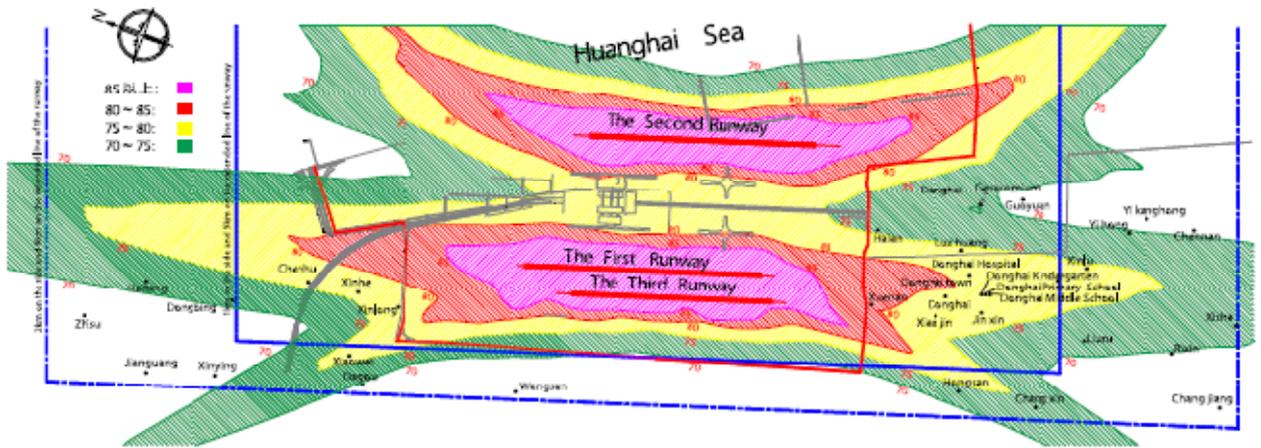


Fig.6. Contornos de ruido del aeropuerto “Pudong International Airport”.

## II. SOFTWARE INM 7.0

El cálculo del modelo INM (Integrated Noise Model), está diseñado para estimar los efectos del ruido a largo plazo introduciendo condiciones medias anuales [6]. No es un modelo exacto, ya que normalmente existen diferencias entre lo que se predice y los valores medidos posteriormente, pues hay muchas variables acústicas que no se pueden promediar y porque pueden haber fenómenos físicos complicados que no se especifican en el modelo.

Lo esencial de los cálculos del modelo INM están basados en la documentación de la Sociedad de Ingeniería Automotriz (SAE), el Comité de Ruido de Aviación(A-21), el cual está compuesto por instituciones de investigación, empresas de ingeniería, fábricas de aviones y motores..., y la Regulación Federal de la Aviación (FAR). Además también se fundamentan en otros documentos de carácter internacional como los de la Confederación Europea de la Aviación Civil (ECAC) y los de la Organización Internacional de la Aviación Civil (ICAO). Toda la documentación más significativa se detalla en el Anexo II de este documento.

El modelo INM requiere información muy variada, básicamente del aeropuerto, del tipo de vuelo y parámetros de cálculo tipo la malla de los receptores ficticios, los puntos de población o los parámetros acústicos.

Este software se ha diseñado para ejecutar el siguiente proceso, se efectúa una captura de datos en la torre de control, separando por segmentos según el tipo de operación de vuelo, se realiza una conversión de datos por el programa *INM2FFC*, desarrollado por Ames (NASA Ames Research Center), para poderlos introducir en los archivos de INM, una vez implantados ya se pueden utilizar para hacer los cálculos que se pretenda [9].

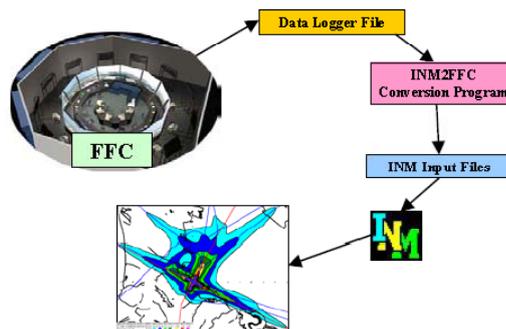


Fig.7. Proceso de los datos desde la torre de control

Cuando se quiere estudiar la predicción de una serie de ruido en un aeropuerto, se parte de unos datos primarios que se recogen previamente en los aeropuertos, y se introducen desde la barra de herramientas en *File / Import Data into Study* mediante una serie de opciones.



Una de éstas es la de importar un fichero .dxf desde el programa Autocad, esto es útil ya que teniendo un dibujo de una ciudad en general, con sus edificios, calles, el aeropuerto con sus pistas y paradas de taxis, con lo que posteriormente sólo se tendría que trazar sobre el dibujo, mediante la herramienta de dibujo que tiene el software, lo que más interesa en cada caso. Cuando se entra en el subapartado, aparece una ventana donde se debe introducir el fichero donde está guardado y las coordenadas desde donde lo cogemos y donde lo queremos colocar. Una vez que se ha calculado todo se podrá visualizar con la herramienta antes mencionada.

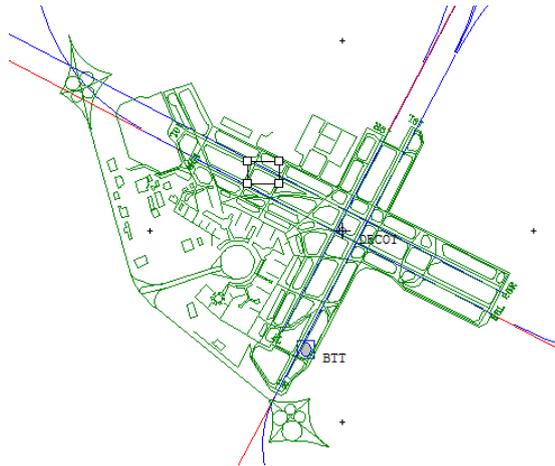


Fig.8. Dibujo .dxf importado desde Autocad

Por otro lado también se pueden importar archivos de terreno. Esta información importa en el programa la elevación del terreno, unos contornos de cálculo..., puede ser introducido en diferentes formatos, por una parte en *3CD*, que es un formato binario de pago de la “Micropath Corporation” de los E.E.U.U., en *3TX*, en formato de texto de las mismas características que el anterior, en *NEDGrid format* y en *Digital Elevation Model*. Estos archivos se pueden crear desde un subprograma llamado *NMPlot*, que se explica con más detenimiento en el punto II y el punto III, ya que permite introducir curvas isofónicas y otra serie de objetos, para luego exportarlas a otros programas geográficos. Además para introducir la malla o el dibujo que hayamos creado en INM 7.0, se tendrá que hacer desde ficheros .grd que es el conjunto de datos de un proyecto de este subprograma.

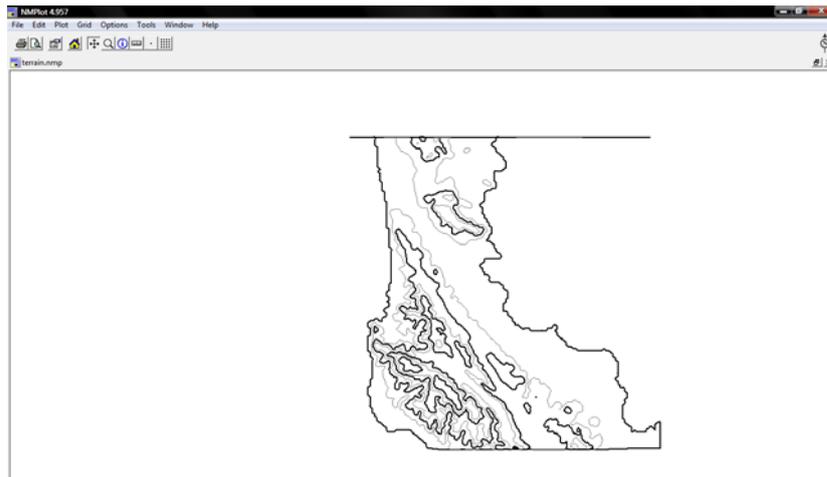


Fig.9. Dibujo por NMPlot

En la figura 9, se muestra esta información de terreno que se puede crear, con sus elevaciones y otra información geográfica.

Otro apartado importante en el programa es poder disponer de otros subprogramas como el Census 2000 o el Tiger 2000, los cuales permiten introducir datos de la población existente en puntos que se supone que son más sensibles al ruido de los aviones. El primero va a necesitar los ficheros del segundo, así que se tendrá que trabajar previamente con éste. Ambos subprogramas se explican más detalladamente en el Anexo I. Estos datos de población, terreno, dibujos...es significativo introducirlos cuando se vaya a crear un estudio, porque van a ser los datos base de los que partirá el mismo.

Posteriormente en el punto III se explica con un ejemplo y detalladamente cómo se crea un estudio, en este apartado partimos de uno que ya está hecho. Cuando hablamos de un estudio, nos referimos a dónde se va a hacer la predicción (en qué aeropuerto, helipuerto,...) en el estudio se incluyen los casos que definen las operaciones de vuelo y las condiciones ambientales en las que se encuentra, un escenario está formado por muchos casos, y son los que se ejecutan para hacer la predicción desde *Run*.

En un escenario es donde se introduce toda la información para poder hacer la predicción. Una vez se han importado los datos de terreno, población y todo lo necesario se debe de introducir su localización desde *Setup / File locations...*, que incluye los ficheros del directorio de terreno, ruido de fondo y áreas de contorno.

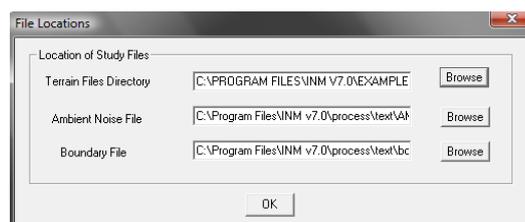


Fig.10. Localización de ficheros

Por otro lado también se definen los puntos que sean de especial importancia por su sensibilidad acústica y puntos de población que se quiere comprobar si están o no afectados. Esto se hace desde *Setup / Location Points* y *Setup / Population Points* respectivamente.

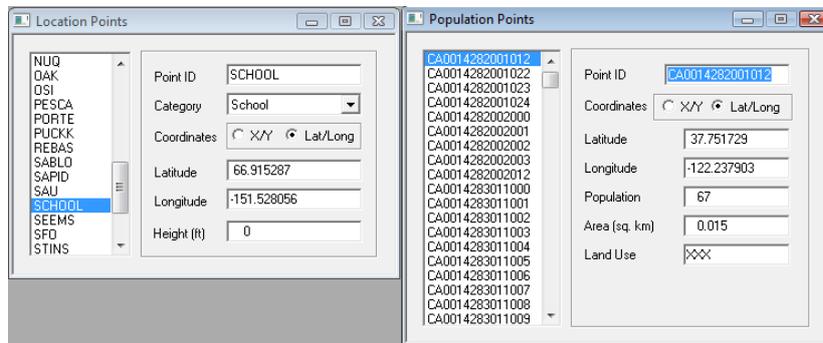


Fig.11. Puntos sensibles

Otra característica que se ha de añadir y tener en cuenta en el escenario, son las pistas de vuelo con las que se va a trabajar. Cada aeropuerto lleva unas pistas por defecto, las que están introducidas en la base de datos, pero por ejemplo si se quiere estudiar la construcción de una nueva pista de despegue la podemos añadir, ya que el programa incluye una herramienta de dibujo. Desde *Tracks* se puede ver y modificar teóricamente las pistas que se incluirán en el estudio y desde *Tracks / Input Graphics* se abre la herramienta antes mencionada.

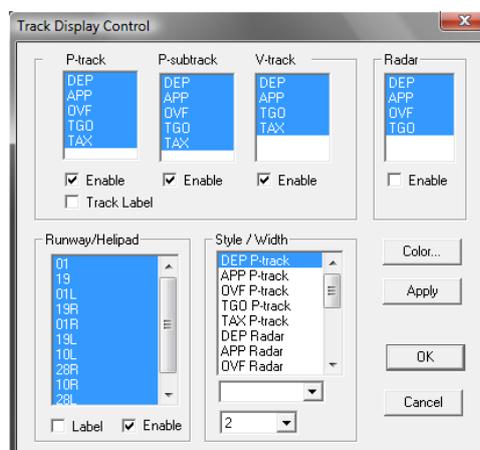


Fig.12. Ventana de control de las pistas

De las diferentes opciones que contiene esta herramienta pueden destacar varias como la ventana que muestra la figura 12, en la que se puede seleccionar las pistas que se quiere visualizar y editarlas. También existe la opción en la que se marcan puntos de población como calles, plazas, edificios... como muestra la figura 13.

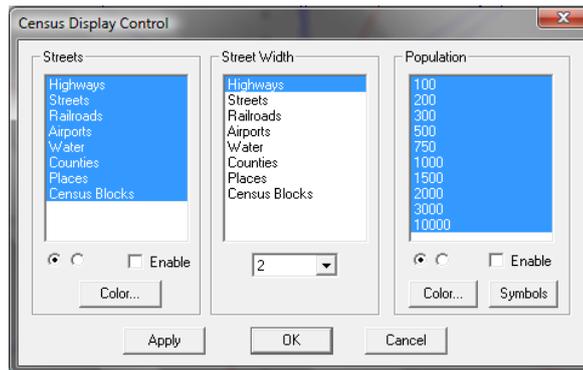


Fig.13. Puntos de población en la herramienta de dibujo

Además de puntos estratégicos de población, también se pueden añadir los *location points* de los que se ha hablado anteriormente, con posibilidad de elegir el icono que lo representa.

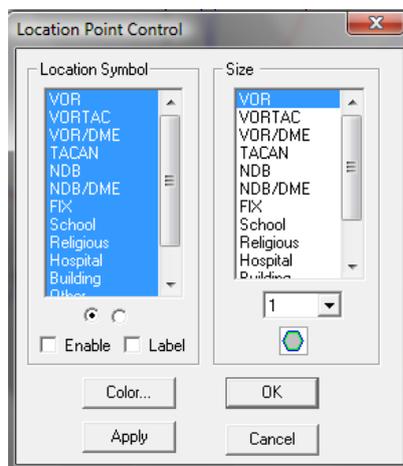


Fig.14. Puntos especialmente sensibles en la herramienta de dibujo

Con las elecciones realizadas de todas las opciones de la herramienta de la que se está hablando, puede quedar una gráfica con las pistas del aeropuerto, y rutas de las aeronaves que se han elegido como la de la figura 15.

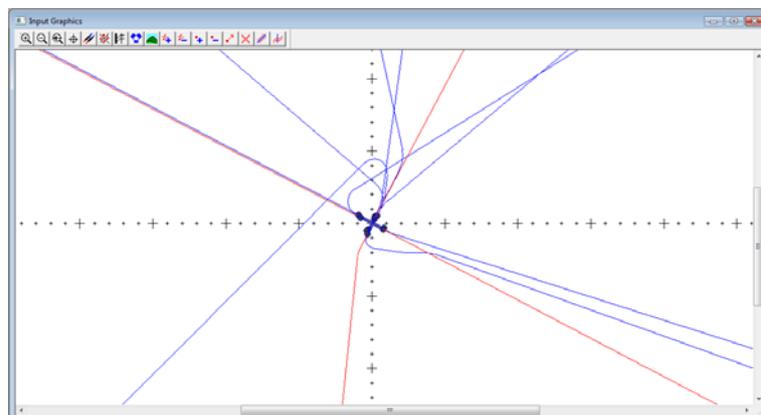


Fig.15. Pistas y rutas de vuelo en la herramienta de dibujo

En el software INM 7.0 se puede escoger la predicción por ruido de aviones civiles, militares y helicópteros. En este documento se va a centrar únicamente en los civiles, porque cada elección tiene sus opciones y su base de datos particulares.

Con la función *Civil / Civil airplane data*, se puede ver e introducir en el software las aeronaves que vayan a ser usadas. Para definir un avión se han de introducir parámetros como el identificador del avión que está asociado a su perfil según los coeficientes del motor o motores, los coeficientes aerodinámicos..., también una breve descripción del avión, el tipo de avión según el peso en libras, se debe de poner además si es un avión comercial, general o militar. Al mismo tiempo se debe introducir el tipo de motor y el escenario de ruido, el cual se clasifica por el documento “FAR Parte 36”. Asimismo se pide el peso bruto en el aterrizaje y en el despegue y la distancia máxima de aterrizaje que está condicionada por su peso bruto de aterrizaje en pies, que se clasifica por el documento “FAR Parte 25”. Por último se debe introducir el tipo de ruido según su curva NPD, las cuales se explican más adelante, el número de motores, la fuerza estática en libras y el tipo de coeficiente de fuerza.

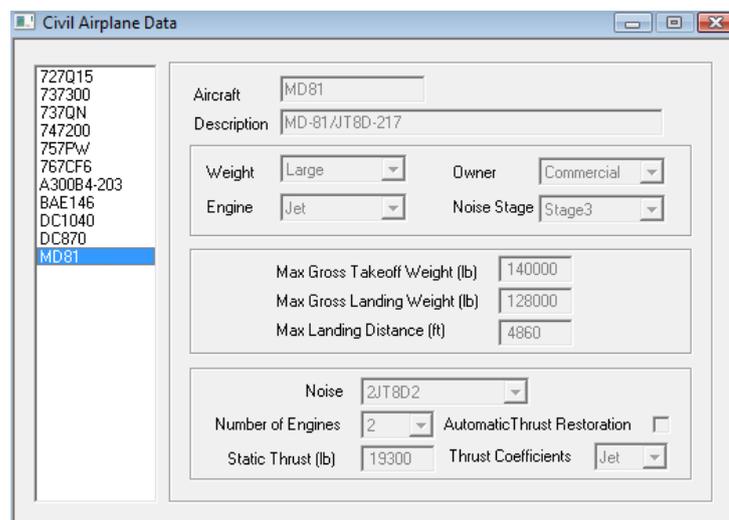


Fig.16. Datos de las aeronaves civiles

A parte de las características específicas de cada aeronave, éstas tienen asociadas sus propias operaciones de vuelo, las cuales se pueden modificar en *Civil / Civil Profile Identifiers*, donde se deberá introducir cada operación en un grupo que tiene generado su propio perfil.

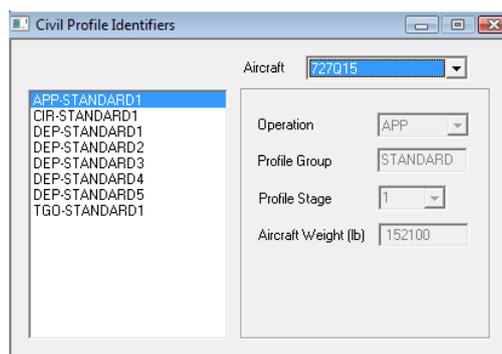


Fig.17. Operaciones de vuelo de un avión

Tanto en la ventana de la figura 16 como en la figura 17 y otras, para añadir diferentes aviones como pasa en la primera o distintas operaciones de vuelo en la segunda, se debe entrar en *Edit / Add Record* eligiendo las características que se demandan, y después *Edit / Commit Record*. De la misma manera para eliminar un perfil se debe de entrar en *Edit / Delete Record*.

Igualmente para cada operación de vuelo, existe un procedimiento que divide ésta en varias fases al vuelo. Para modificar estos procedimientos se aconseja tener un serio conocimiento de la actividad de los vuelos y del mismo avión, ya que se deben introducir parámetros muy específicos de éstos.

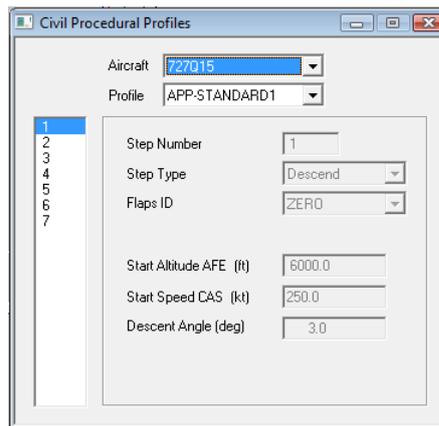


Fig.18. Fases del vuelo

Con respecto la distancia que lleva recorrida el avión en la pista (en pies), se puede comparar la fuerza por motor (en libras), la elevación (en pies) o la velocidad (en knots) por medio de unas gráficas que aparecen en el menú de herramientas en *Civil / Profile Graphs...*

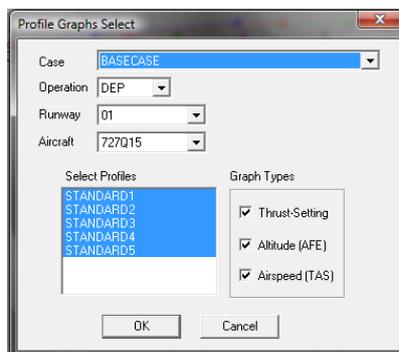


Fig.19. Gráficas de comparación de parámetros

Se puede elegir en esta ventana el Caso en el que se está trabajando, el tipo de avión, la pista y operación de vuelo en la que se encontrará el avión. Por ejemplo, en la figura 20, se muestra la evolución de la velocidad en knots con respecto la distancia por cada 1000 pies, en el despegue de la aeronave 727Q15 por la pista 01, del caso estudiado BASECASE. A esta evolución se la ha denominado STANDARD1.

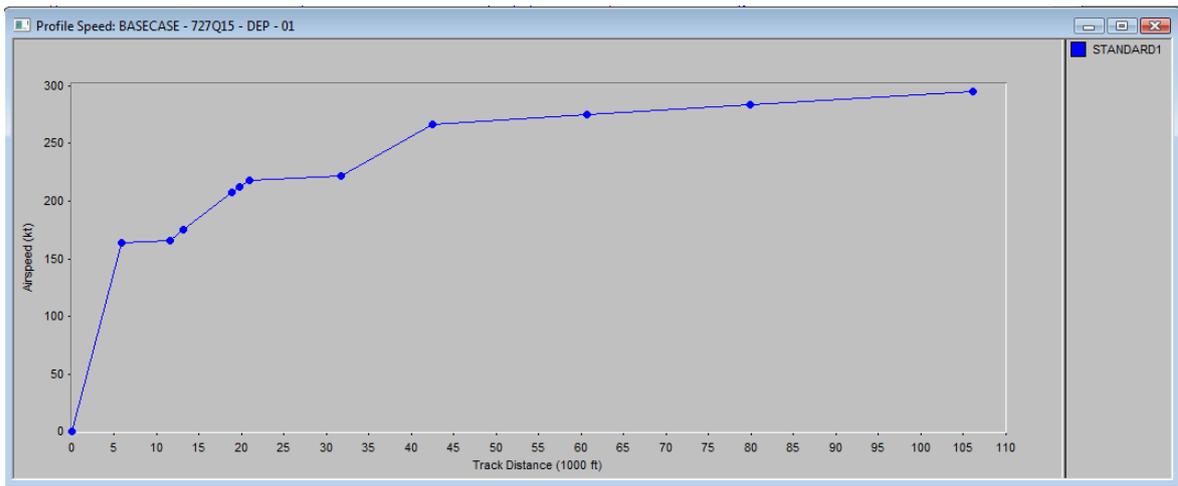


Fig.20. Gráfica de evoluciones

A parte, en la herramienta *Civil*, también se incluyen una serie de coeficientes, *Flap Coefficients*, *Jet Coefficients*, *Prop Coefficients* y *General Coefficients*, todos ellos son característicos del tipo de avión y son estudiados minuciosamente. De hecho, últimamente hay un efusivo entusiasmo por el estudio mediante predicción por modelos matemáticos la reducción del ruido en los motores de los aviones, ya que este ruido es una mezcla de muchos factores. Además al tratamiento acústico de los motores se le pone especial atención ya que contienen componentes espectrales difíciles de dominar y atenuar[1].

Otro apartado importante dentro de la herramienta *Civil*, que está activa porque se ha elegido *AfctType / Civil*, es el de ruido. Por un lado, se tiene un subapartado llamado *Civil / Noise identifiers* que muestra ciertas clases de ruido de los motores, los cuales tienen asignada una curva espectral que se ha medido previamente tanto para despegue como para aterrizaje, e identificadas también por el modelo de ruido, como por ejemplo el INM.

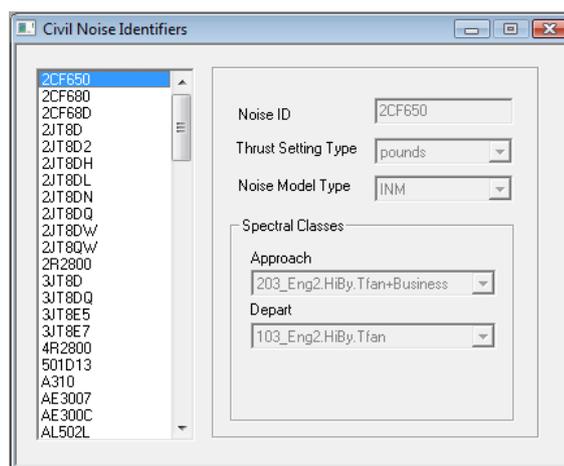


Fig.21. Ruidos de los aviones civiles

Estos ruidos caracterizan las curvas NPD, están en el subapartado *Civil NPD Data* donde se visualizan y se introducen otras características de las mismas, están definidas por 10 niveles de

presión sonora en bandas de tercios de octava desde 50Hz hasta 10KHz, medidos como  $L_{ASMX}$ , y corregidos bajo una referencia a la distancia de 1000pies. El programa tiene una serie de características definidas por defecto en su base de datos, pero el usuario puede modificarlas e introducir otras.

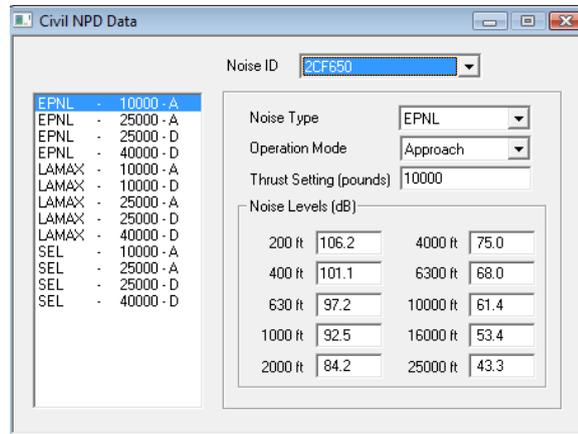


Fig.22. Curvas NPD

Es importante tener en cuenta que en el cálculo del nivel de exposición sonora (SEL) el INM evalúa una interpolación logarítmica en la distancia y lineal en la fuerza de la máquina; ruido vs. potencia vs. distancia conforman las curvas NPD, que son medidas para cada avión y operación de vuelo. Esto se ilustra de manera visual en la tabla 1, que nos muestra el test hecho para crear la curva NPD de un avión, marca el tipo de avión, el ruido característico de éste, el tipo de operación de vuelo (despegue, aterrizaje...), el peso del motor (en lb.) y diferentes puntos de observación a distintas distancias (en pies).

ACFT ID	NOISE ID	OP TYPE	THR SET	L <sub>200</sub>	L <sub>400</sub>	...	L <sub>25000</sub>
757FW	PW2037	A	5000	96.1	91.8	...	49.2
757FW	PW2037	A	12000	98.6	94.0	...	49.4
757FW	PW2037	D	13000	98.4	94.3	...	49.8
757FW	PW2037	D	24000	100.5	96.2	...	56.0
757FW	PW2037	D	30000	104.3	100.6	...	60.9
757FW	PW2037	D	36000	104.5	101.5	...	61.6

Tabla 1: Datos de curva NPD del avión 757PW con ruido tipo de ruido PW2037 [7]

Como se ve en la figura 23, y se ha mencionado antes, las curvas NPD contienen diferentes parámetros de ruido. El programa contiene en su base de datos unos cuantos de ellos por defecto, siendo posible introducir otros. Desde *Setup / Noise Metrics*, se abre una ventana con todos ellos.



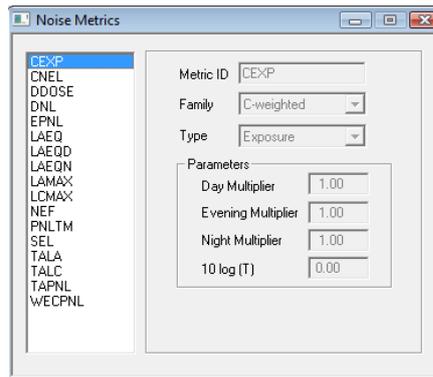


Fig.23. Parámetros de ruido

Si se quisiera introducir uno nuevo, por un lado, se elige el nombre del parámetro, después la ponderación (A, C, Corrección tonal), el tipo de ruido (promediado, nivel máximo, “Time Above” que es un parámetro que define los mínimos de nivel de ruido que están por encima del umbral), también se introducen los multiplicadores de día, tarde y noche, y el tiempo de exposición en el que se encuentra el parámetro sonoro en logarítmico. Por ejemplo, si se introdujera el  $L_{DEN}$ , que no aparece, se haría de la manera que indica la figura 24, y como se explica unos párrafos más arriba.

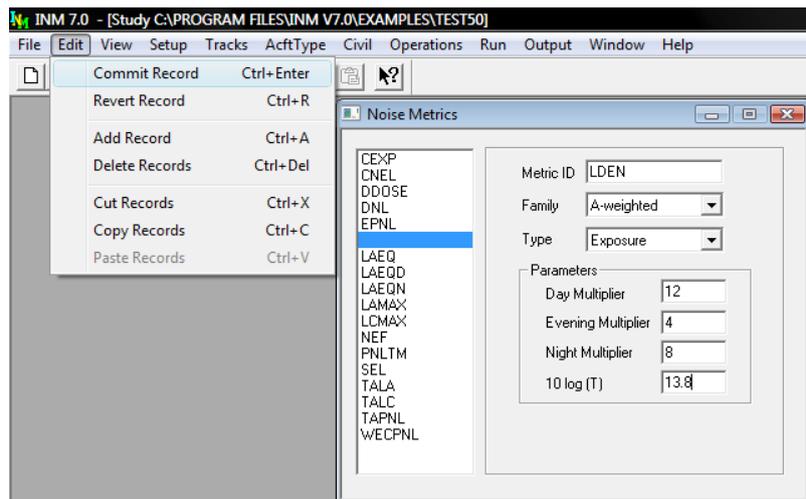


Fig.24. Introducción de un parámetro acústico

Sabiendo que el  $L_{DEN}$  definido por el “Doc 29, 3rd Edition: Volume 1” es:

$$L_{DEN} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left[ 12 \times 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \times 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \times 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right] \quad (4)$$

Siendo  $L_{day}$ ,  $L_{evening}$  o  $L_{night}$  el nivel sonoro en dBA definido en la UNE EN-ISO 1996:1, de los diferentes periodos del día.

Para poder conocer las gráficas de los niveles de ruido con respecto a la distancia, se puede entrar en *Civil / Noise Graph* y seleccionar el parámetro deseado (SEL, LAMAX, EPNL, PNLTM...), la fuerza del motor y la operación de vuelo.

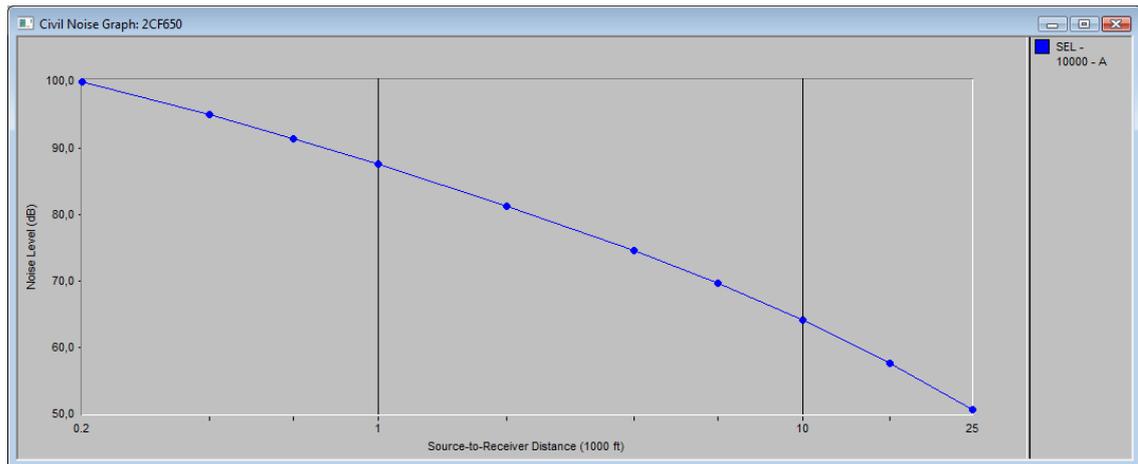


Fig.25. Evolución del nivel sonoro con respecto a la distancia cada 1000pies

Una vez se han introducido los datos de todas las aeronaves que se van a utilizar en el estudio, y especificado el ruido que estas generan, se tiene que evaluar el número de vuelos por avión, pista operación de vuelo en el aeropuerto.

En la barra de herramientas, en el menú *Operations*, existe un submenú donde en primer lugar se asigna el número de aeronaves para cada pista individualmente, se entra pues en *Operations / Flight Operations*, se introduce un avión y su pista y se le añade le tipo de operación y el número de vuelos dividido en mañana, tarde y noche. En segundo lugar, existe la opción *Operations / Runup Operations* en la que se evalúa un periodo de una maniobra, aquí se debe introducir el avión que realiza esa maniobra, la identificación de la misma, las coordenadas de donde se realiza (si no se sabe con exactitud se puede utilizar la función *Tracks / Input Graphics / View / Geo Units* para cambiarlo también si se quiere a ‘nmi’ o ‘km’. Se introduce también el rumbo del avión en dicha maniobra en grados, en la casilla *Heading*, y también la fuerza del motor en ‘pounds’, que se puede consultar en *Civil / Airplane Data / Airplane Data Window*. En periodos donde no se opera con todos los motores, se debe de tener en cuenta que disminuye el nivel de ruido a razón de:

$$10\log(N/N_T) \text{ [dB]} \quad (5)$$

donde N es el número de motores en funcionamiento y  $N_T$  el número total de motores de la aeronave. Además se ha de introducir en este apartado la duración en minutos del evento, que evidentemente, como máximo será de 24h. Y por último el número de veces que se produce dicho evento dividido entre la mañana, la tarde y noche.

Otra opción de este submenú se llama *Group Percents*, que como el propio nombre indica se van a identificar una serie de grupos, es decir, agrupamos situaciones que se crean en diferentes momentos del día, pe con la misma operación en las mismas pistas.

Y por último y no menos importante, está *Operations / Airport Flight Operations*, en el cual se detallará cada avión, los vuelos que realiza al día en cada operación. Para poder visualizar todos los

datos introducidos se puede entrar en *View Calculated Flights* donde aparecerá un resumen o un informe detallado de todas estas operaciones mencionadas.

INM 7.0 calcula los parámetros de ruido en puntos de toma de muestra ficticios de acuerdo a la definición de una malla de la cual se ha hablado anteriormente, y los resultados se guardarán en el subdirectorio del Escenario donde se está trabajando. Esta malla se crea desde *Run / Grid Setup*, la definición de la misma requiere un origen y el número de puntos q va a tener la malla como base y la distancia entre los mismos, por otra parte también se identifica el tipo de malla que se está delimitando; puede ser o de Contorno en la cual se crea un rectángulo y como resultado muestra el ruido en el interior del mismo; estándar (en la figura 26 aparece como S01, que es un nombre que se le ha dado), en la que se definen puntos concretos y se hace una escueta evaluación en dichos puntos; detallada (D01) también son puntos concretos, pero realizando una evaluación más extensa; Locations, donde se define el umbral de molestia en puntos específicos que se hayan definido previamente como *Location Points* y por último Population en el que se especifica el umbral de molestia en dB en puntos de población previamente seleccionados.

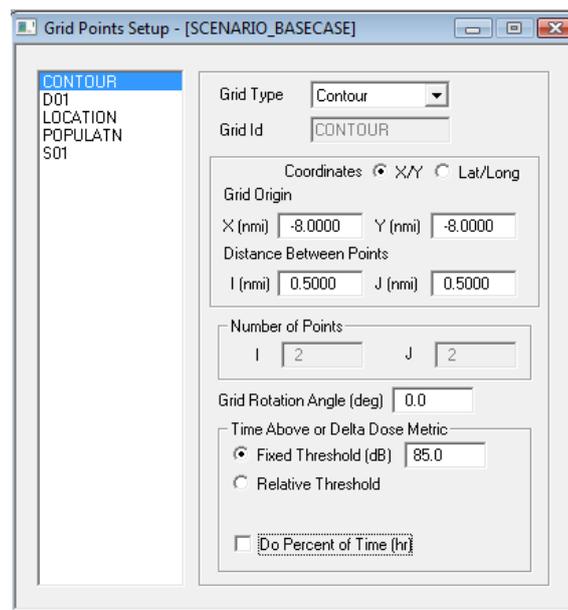


Fig.26. Creación de una malla de cálculo

La creación de la malla queda como en la figura 27, eso sí dependiendo del número de puntos, del ángulo de rotación y las diferentes características que pueda tener.

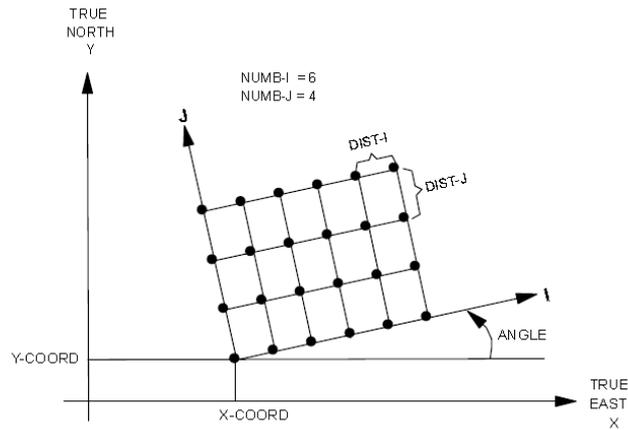


Fig.27. Malla de cálculo

El software INM 7.0 utiliza la técnica de segmentación para el cálculo del nivel de exposición generado por un avión en el curso de sus operaciones. Esto significa que la trayectoria de vuelo se divide en segmentos, todos ellos rectos, la longitud mínima de un segmento es de 3m. La ventaja de esto es que cada segmento se puede evaluar bajo condiciones distintas dentro de una misma trayectoria. Uno de los primeros cálculos es el de calcular la distancia más corta entre los distintos puntos de la malla y la trayectoria de vuelo, la línea perpendicular que los une. A partir de esta distancia se calcula la energía de exposición sonora de cada segmento, y con ésta la energía total del vuelo.

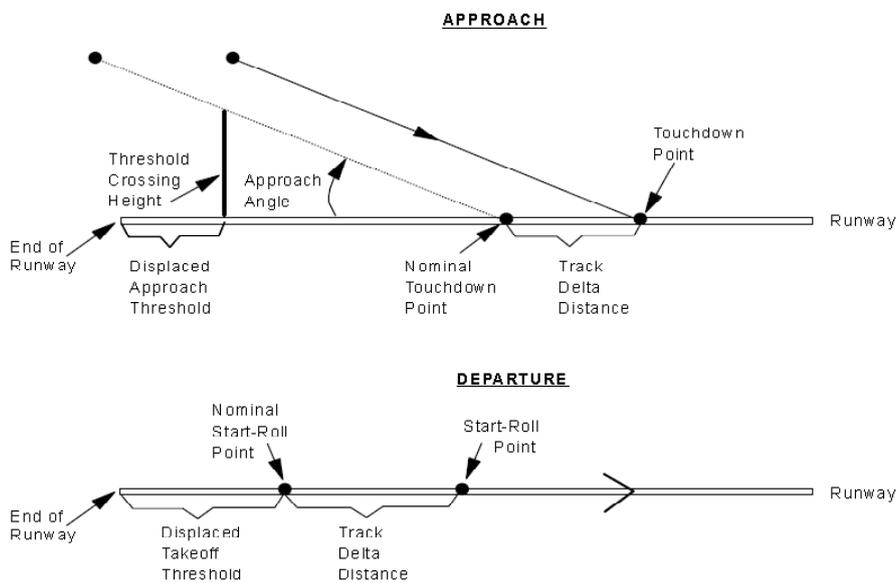


Fig.28. Segmentación del aterrizaje y el despegue

El estudio se encuentra en el punto de que ya están introducidos todos los datos que se necesitan para hacer una predicción fiable de niveles de ruido por lo tanto se abre en estos momentos desde la barra de herramientas *Run / Run Options*.

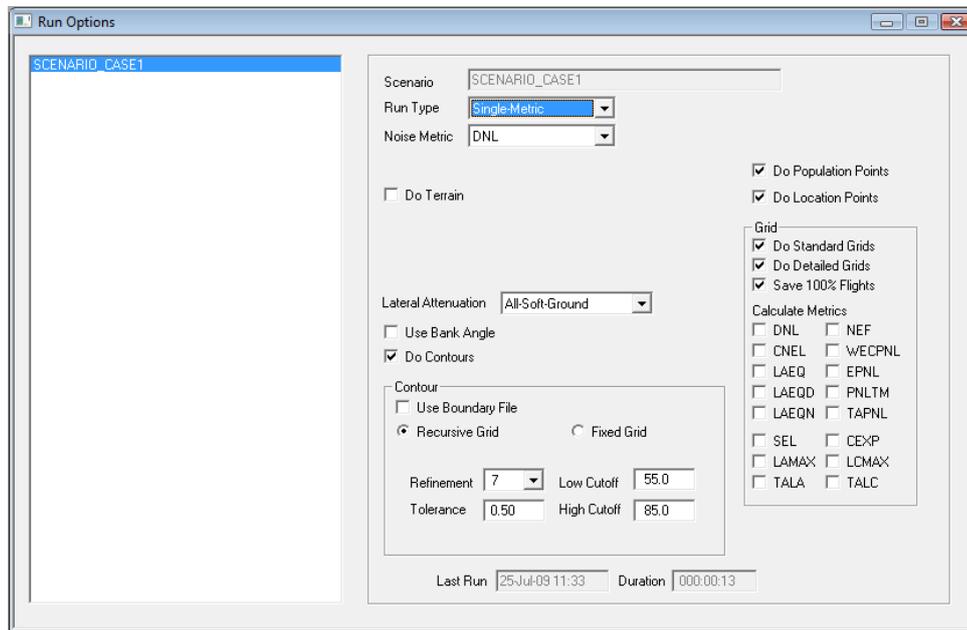


Fig.29. Opciones de cálculo

En esta ventana se ha de elegir en primer lugar el Escenario que se va a calcular. Es posible seleccionar un montón de características de cálculo del Escenario, para empezar hay un desplegable donde se elige el tipo de cálculo, es decir, por una parte está el cálculo de un solo parámetro (Single-Metric) donde se puede elegir calcular contornos, las mallas estándar, las detalladas, los puntos de población y puntos específicos, y todo en una sola vez; por otra parte está el Ruido Ambiental (Ambient Screening) y audibilidad (Audibility), aunque en ambos e introducen los datos previamente desde *Setup / File Locations / Ambient Noise File*, pero existen estas opciones para operar fuera del método INM y calcular por separado una serie de parámetros como el TALA ( $L_A$  en un tiempo determinado), por lo tanto no se va a entrar en detalle ya que en este documento se quiere hablar sobre todo de los cálculos en dicho método.

Eligiendo pues el cálculo de un solo parámetro, desde el desplegable *Noise Metric* dode se elige el parámetro deseado, pudiendo incluso crear uno nuevo. Además se puede escoger opcionalmente si se quiere utilizar o no datos de terreno (Do Terrain), hacer el cálculo de contornos (Do Contour), calcular también el parámetro de ruido elegido en puntos específicos como en puntos de población. También se ha de elegir, según la malla que se ha creado previamente, la opción de malla estándar o detallada, si no se ha definido ninguna de éstas lógicamente no se escoge ninguna de las opciones.

Otro desplegable de la ventana *Run Options* es el de *Lateral Attenuation*, donde se escoge una manera de predicción por atenuación lateral, basada en el documento SAE- ARP-5662. Por último, si se marca *Use Bank Angle*, el método va a tener en cuenta el efecto de ángulo de inclinación lateral o también llamado ángulo de alabeo, cuando se calcula la maniobra del vuelo y la propagación del sonido. El cálculo de este ángulo se basa en la curvatura de la pista y en la velocidad del avión.

Una vez se ha caracterizado el cálculo, se elige *Run / Run Start* dentro de la barra de herramientas y con ello se comienza a hacer el cálculo. Más adelante en el punto III en la figura 41 se muestra el proceso de ejecución del cálculo.

Desde el menú de la barra de herramientas Output, hay una lista de opciones para visualizar los resultados obtenidos del cálculo, tanto por gráficas como por tablas. En el punto III, se detalla más cada opción con los resultados del ejemplo.

Cuando se ha ejecutado el Caso dentro de un Escenario, se crea indirectamente un archivo *.grd*, que significa que se ha creado una malla en el subprograma NMPlot, donde mediante dicho programa crearemos las curvas isofónicas. Este proceso se explica paso a paso en el punto III, donde con el caso práctico se irán introduciendo sus resultados. Estas gráficas que se mostrarán con el programa se pueden exportar mediante *File / Export to Gis*, a dicho programa geográfico, ya que lo convierte en formato *.shp* (shape), para poder trabajar con todos los datos.

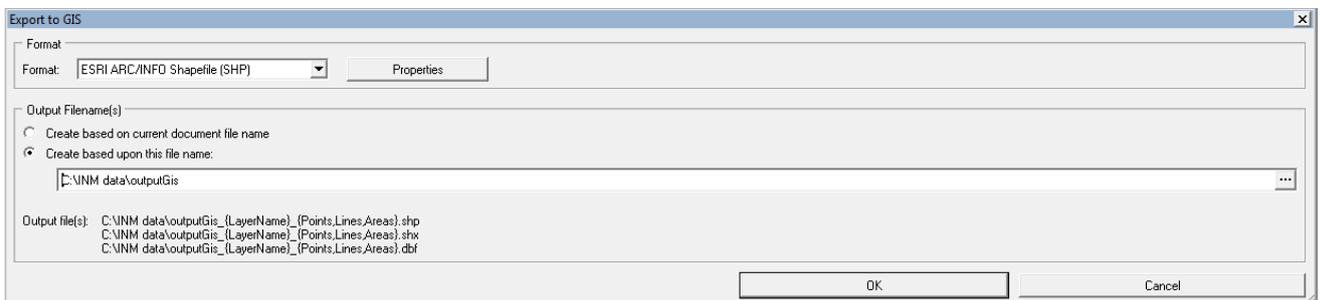


Fig.30. Exportar a Gis

### III. APLICACIÓN DE UN CASO PRÁCTICO

La primera pantalla que aparece cuando se abre el software da una serie de opciones, la primera pestaña que permite abrir, crear o imprimir un estudio, la segunda que permite cambiar la manera de guardar el trabajo que se va realizando y la forma de mostrar el espacio de trabajo, y además la barra de ayuda. En este apartado se crea un estudio nuevo por lo que seleccionamos *File / New Study*, elegimos el directorio donde colocaremos el estudio y le asignaremos un nombre.

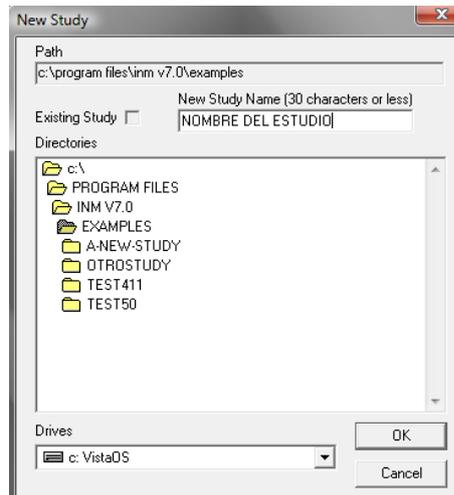


Fig.31. Creación de un nuevo estudio

Una vez creado el estudio, se elige el sistema métrico con el que se quiere trabajar, el sistema métrico decimal y el sistema métrico inglés. Introducida esta información, se abre una ventana en la que se pide una pequeña descripción de lo que se va a realizar.

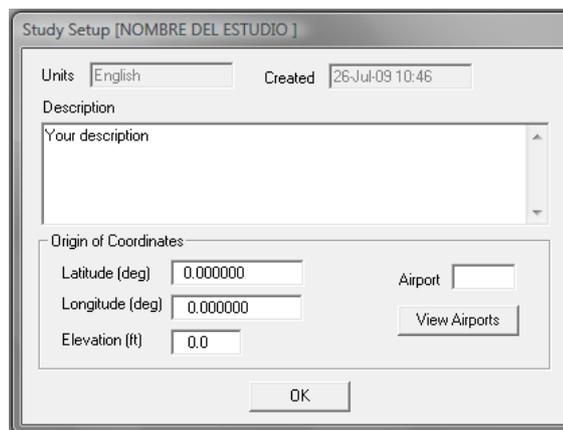


Fig. 32. Descripción del estudio

Desde el botón *View Airports* se escoge el aeropuerto a estudiar. Para este ejemplo se escoge *IL Chicago O'rtare ORD*, que ya está creado en la base de datos del software.

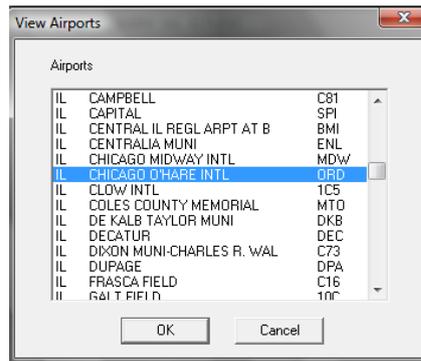


Fig.33. Elección del aeropuerto

La base de datos del software proporciona la longitud, latitud y elevación del aeropuerto elegido. A la vez se nos abren 2 ventanas más *Runway ends and Helipads*, que son las pistas del aeropuerto, y *Location Points*, en el que se han marcado una serie de puntos que pueden ser interesantes. Tanto unos datos como otros son introducidos cuando se define el aeropuerto en la base de datos, por lo que aparecen por defecto los parámetros y sus valores.

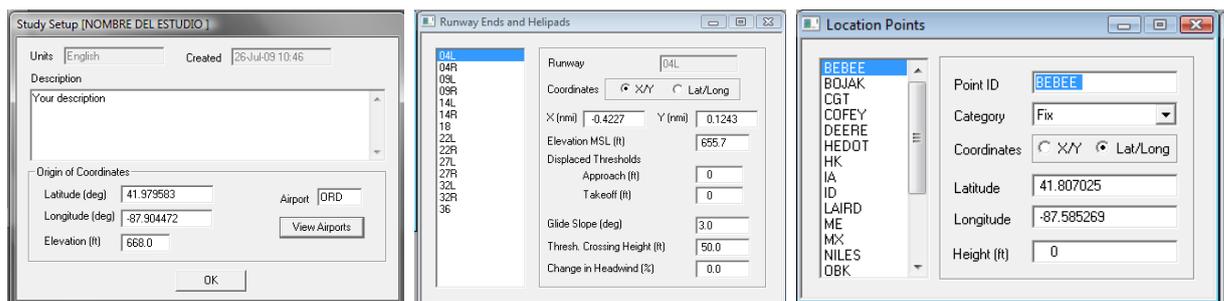


Fig.34. Características del aeropuerto

En estos momentos ya se puede hacer elección de los aviones o helicópteros a estudiar. En este caso se va a estudiar un único avión civil. Se hace elección de, por ejemplo, un 767JT9 y se incluye en la ventana contigua, abriéndose de inmediato otra ventana con las características del avión o aviones, que podemos consultar después en *Civil / Airplane Data*. También se pueden añadir posteriormente más aviones a estudio, pudiendo elegir de entre todos que se encuentren en la base de datos, desde *Setup / Civil Airplanes*.

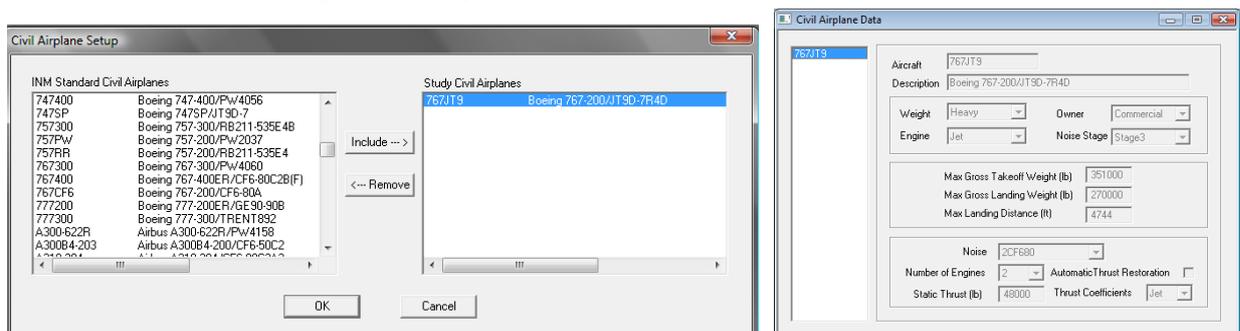


Fig.35. Elección de las aeronaves



Una vez hecho esto, se abre desde la barra de herramientas *Setup / Cases*, se añade un caso en el estudio desde *Edit / Add record*, que se podrá consultar posteriormente desde *Setup / Cases*, se escribe el nombre, una pequeña descripción y si se quiere, se cambian las condiciones atmosféricas del aeropuerto, se pincha en *Edit / Commit record*, grabándose de esta manera los parámetros elegidos.

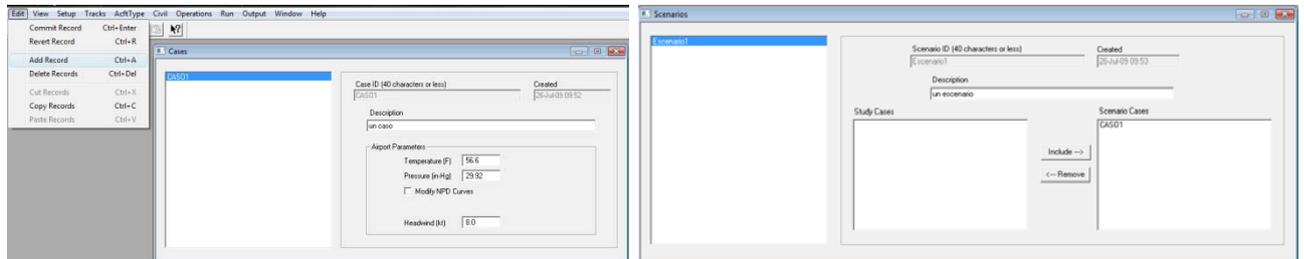


Fig.36. Inserción de un Caso y un escenario

En estos momentos, se ha creado OTROSTUDY / CASO1. De la misma manera, se crea un escenario donde se almacenarán los datos, añadiéndole el CASO1. Teniendo ya el aeropuerto con el que se va a trabajar, debemos de visualizar las pistas de despegue y aterrizaje del mismo. Pinchando en *Tracks / Input graphics*, se consigue la herramienta del dibujo de las pistas del aeropuerto de Chicago, y si se entra en *Edit / Add Tracks* se matizan unos puntos en cada vértice de los segmentos ya dibujados por la base de datos.

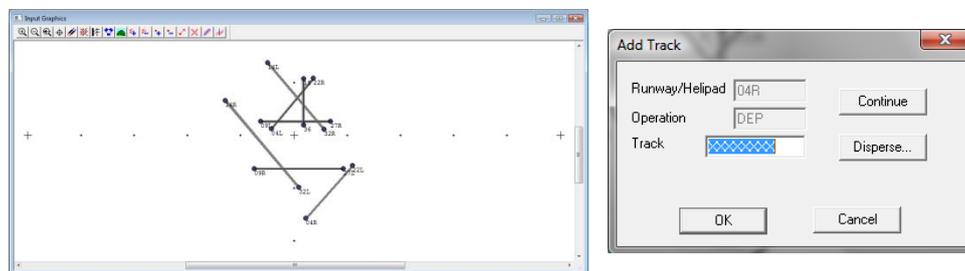


Fig.37. Pistas del aeropuerto

En la casilla *Track* se le introduce un nombre, por ejemplo, *DEP-001*, si pinchamos en *Continue* sigue dibujado segmentos de la pista, lo cual es útil si se quiere alargar o desviar ésta. Si se pincha *Disperse...* se abre una ventana donde se pueden modificar las dimensiones de cada uno de los segmentos de la línea dibujada en *nmi* (nautical miles).

El siguiente paso es seleccionar las operaciones de vuelo en las que se quiere calcular los contornos ruidosos. En *Operations / Civil Flight Operations*, se elige el caso en el que se quiere trabajar, abriéndose la ventana donde se elige la pista, el avión y la operación que éste está realizando (despegue, aterrizaje...), es en esta parte donde se debe introducir el número de vuelos en cada parte del día. Una vez hecho *Commit record*, de esta manera se almacena el archivo “.dbf” en *CASO1*.

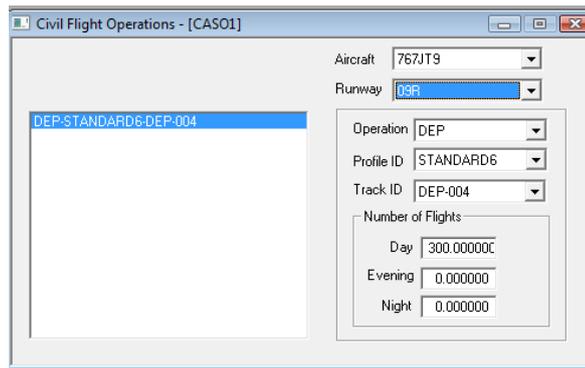


Fig.38. Operaciones de vuelo

Una vez se han definido las características del caso puntual de ruido que se quiere estudiar, se opera con una malla de receptores ficticios que se tiene que crear en el escenario, es imprescindible la del contorno, que es la que se va a añadir en primer lugar. Por defecto, tiene unas dimensiones que se pueden cambiar según convenga.

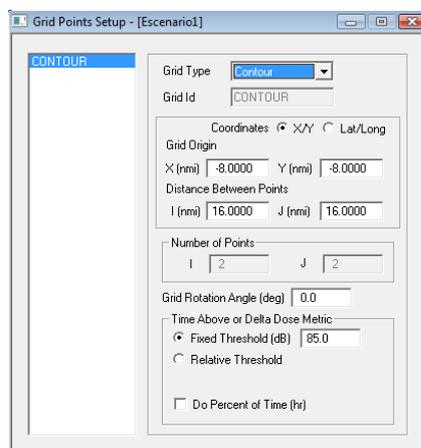


Fig.39. Creación de la malla

Una vez hechas las elecciones anteriores, como base, se entra en *Run / Run options*, se añade (*Edit / Add record*) el escenario que se quiere calcular y se eligen los cálculos que se quieren hacer. En este ejemplo, se hará muy básico, calculando únicamente el *DNL*.

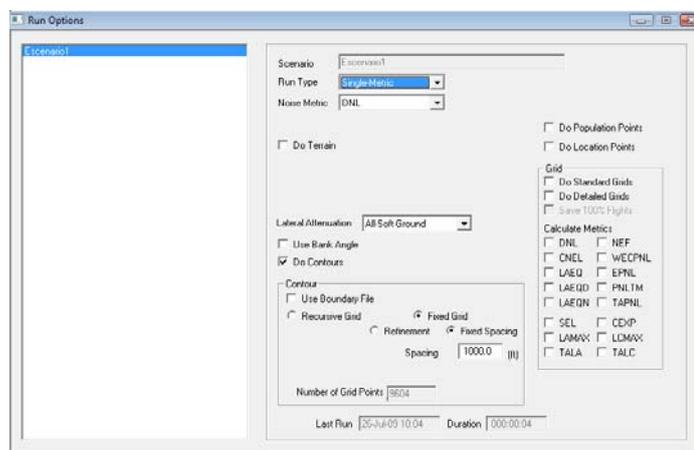


Fig.40. Elección de cálculo

Ahora ya se puede iniciar el cálculo desde *Run / Run Start* incluyendo el escenario, o escenarios mediante la selección de la casilla *Multithreaded*. Se abre una ventana en el momento en que se pincha OK con el proceso de ejecución.

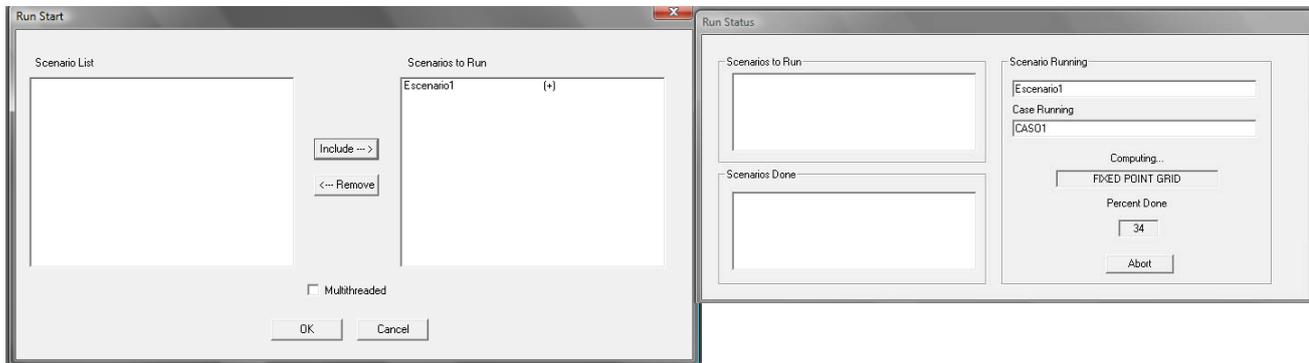


Fig.41. Elección de escenario

En este punto ya se tiene calculado el DNL, que produce un Boeing 767-200/JT90-7R4D, en las pistas trazadas en el aeropuerto Chicago O’Hare INTL, durante todo un día. Por tanto, ya es posible visualizar resultados. Desde la opción *Output* de la barra de herramientas, se tiene todo lo que se puede comprobar y visualizar. Por ejemplo, desde *Output / Output Setup* se seleccionan los parámetros de ruido a estudio, en este caso solo está el DNL. Se debe añadir, dando nombre con *Edit / Add record* el tipo de muestra que se está obteniendo, por ejemplo en este caso, *Valores*.

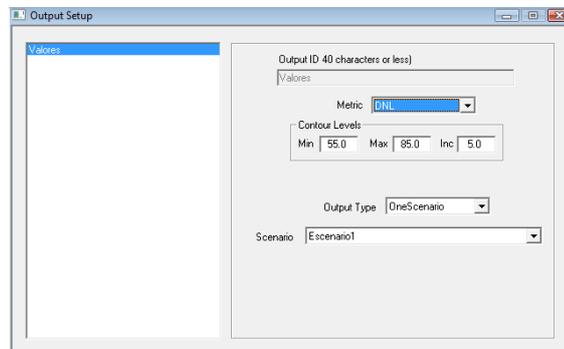


Fig.42. Parámetros calculados

Pinchando la opción *Output / Output Graphics* se abre una ventana para seleccionar la muestra, de esta manera aparece la herramienta de dibujo con el mapa de ruido de las opciones escogidas, y los puntos más importantes que se hayan marcado como puntos de población, puntos conflictivos..., en esta figura, se está viendo por un lado la malla de contorno, que es el cuadrado morado, se muestra en los colores definidos por el programa los niveles DNL en el transcurso de tiempo que se le ha impuesto, y sólo se ha elegido mostrar una pista de vuelo. Las circunferencias, muestran la distancia, son todas equidistantes.

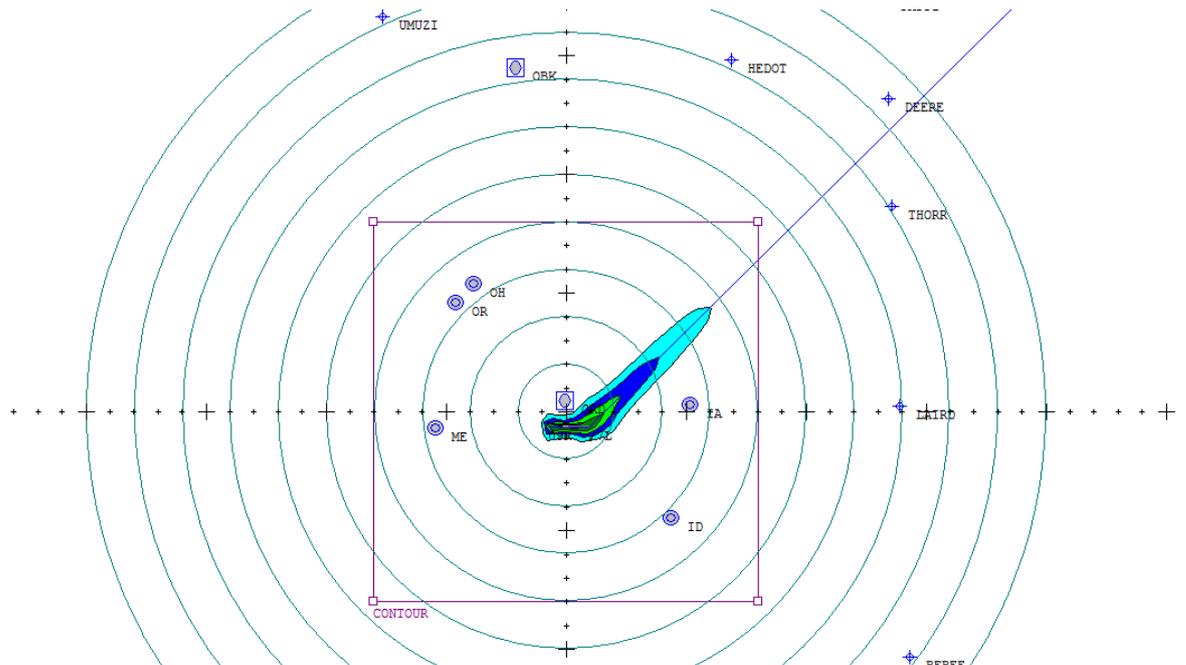


Fig.43. Mapa de ruido

Otra opción, por ejemplo, es visualizar el área y número de personas afectadas por el ruido que ocasiona el ruido que se está estudiando, incluso pudiendo ser éste el objetivo principal del estudio, esto es posible con la opción *Output / Contour Area and Population*, escogiendo esta opción se abre una ventana como la de la tabla 2 la cual muestra los niveles en dB, la barra de *OK* que marca si todos los contornos de nivel de ruido que han salido están englobados en la malla de contorno predefinida, si hay una *Y* significa sí, y si hay una *N* significa no. Además está la columna de *Population*, que marca la población afectada que se halla dentro del nivel de su fila. En la columna *SQ.KM*, indica el área de  $\text{km}^2$  dentro del nivel de su misma fila, *SQ.MI* indica el área en millas<sup>2</sup>, *MAQ.FT* muestra el área afectada en millones de pies<sup>2</sup> y por último *ACRES* es la columna que nos indica el área afectada en acres (unidad métrica inglesa).

LEVEL	OK	POPULATION	SQ.KM	SQ.MI	M.SQ.FT	ACRES
55.0	Y	0	36.584	14.125	393.79	9040.1
60.0	Y	0	15.624	6.033	168.18	3860.9
65.0	Y	0	6.345	2.450	68.30	1567.9
70.0	Y	0	2.522	0.974	27.15	623.3
75.0	Y	0	0.576	0.222	6.20	142.3
80.0	Y	0	0.040	0.015	0.43	9.8

Tabla 2: Área y población afectada

Los contornos de igual nivel de ruido, constituyen el resultado gráfico del proceso de cálculo y pueden ser incorporados a los mapas de compatibilidad de usos, como pueden ser los gráficos. Como se ha comentado en el punto anterior, una vez se han extraído los datos del Escenario creado, para trabajar con ellos se deberá de introducir en software geográfico, y para ello se ha de pasar por el subprograma *NMPlot*, para que este convierta el modelo *INM* en un formato *shape*.

Se comienza abriendo el programa NMPlot, y en la barra de herramientas desde *File / Open* se abre el Estudio con el que se ha trabajado, buscando el fichero de extensión *.grd* creado por el software INM 7.0[7]. Una vez seleccionado el Estudio, se ha abierto un proyecto de malla, el cual si se pincha en la opción *Grid / Create a Plot of this Grid*, se abre un fichero *.nmp* tal y como muestra la figura 44.



Fig.44. Formato *.nmp*

Para el dibujo de las curvas isófonas, se debe de seguir unas pautas en la leyenda, que son marcadas por el S.I.C.A. del que se ha hablado en el punto I [8][10] .

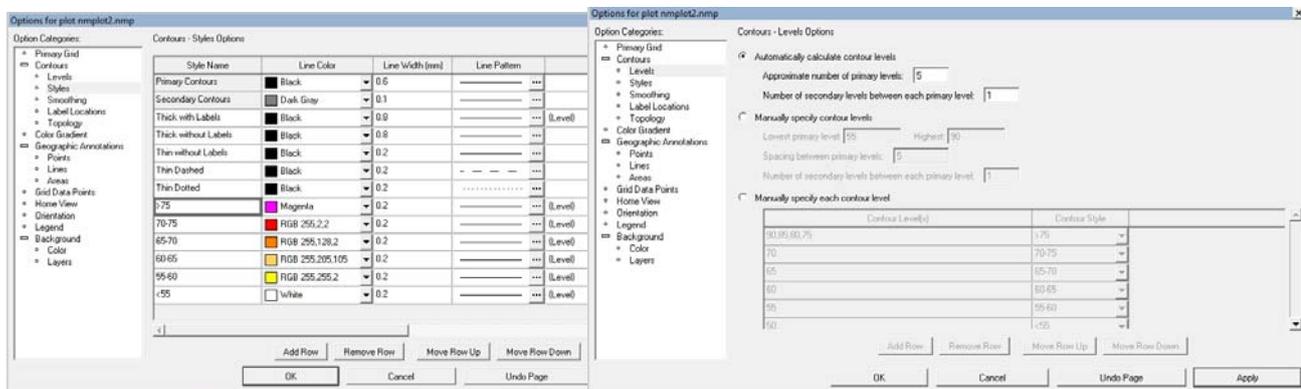


Fig.45. Estilos de contornos y niveles.

En la figura 45, se puede ver la ventana de *Plot / Options* de la barra de herramientas, que sobre todo nos da opción a cambiar las características de “Contours”, en realidad estos a los que se refieren, son las curvas isofónicas que se conocen, en esta aplicación se crea de tal manera que las curvas tienen una sombra que hace parecer un contorno ya que de esta manera es más visible, pero si se introdujera al Gis, se podría quitar ese sombreado para que sólo se viera encima del plano geográfico la línea isofónica. Entonces, mediante *Add Row*, se introduce el nivel que se quiere, y se puede llamar de cualquier forma, que en este caso se les ha identificado con el nombre del nivel

sonoro. Con la opción *Color Gradient Opciones*, es con la cual se ha introducido el sombreado de línea a línea isófona, que se muestra en la figura 46.

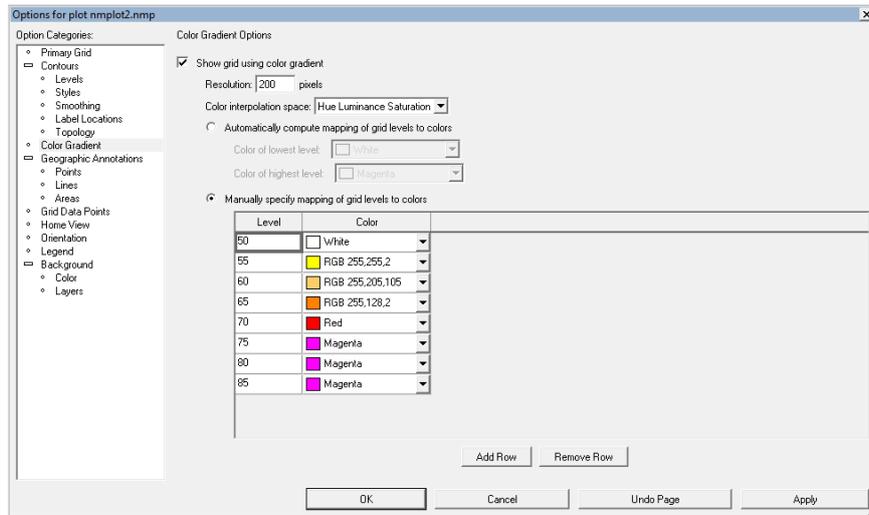


Fig.46. Color de los niveles sonoros

El resultado, una vez caracterizado el dibujo del modelo de ruido el programa nos muestra esas líneas, aunque en la figura 47, se ve un poco pixelado el centro, entro de *Plot / Opciones* existen opciones para caracterizar la definición del dibujo, o si se quisiera se puede hacer un zoom de la zona pixelada para que saliera mejor.

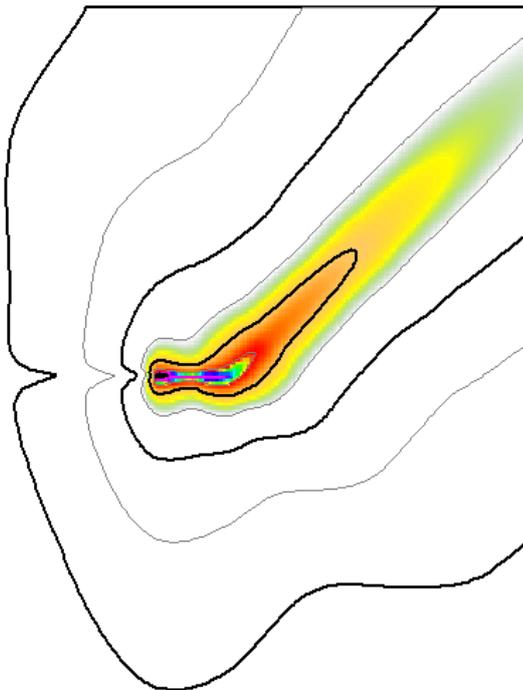


Fig.47. Líneas isofónicas

#### **IV. CONCLUSIONES**

El software INM ha sido y seguirá siendo una revolución en el aspecto de predicción de ruido aeronáutico, ya que es posible saber la molestia que se está causando por una nave en cualquier punto del mundo a un grupo de personas, aunque haya partido ésta a miles de kilómetros del punto afectado y se encuentre a kilómetros de altura. Con respecto a otros programas de simulación, por una parte aporta una considerable información de ruido a mapas geográficos para un estudio completo. Por otra parte pienso que le falta una simulación en video de lo que va ocurriendo con esas líneas isofónicas en su ruta de vuelo.

Una de las complicaciones que encontré en este software, es que a la hora de hacer una simulación en España, al ser un software fabricado E.E.U.U. es difícil encontrar la base de datos de los aviones que operan en España y sus datos de ruido, además de los censos de las ciudades actualizados y su representación en los mapas geográficos con los edificios y todos los pequeños detalles situados, que el software pide.

Por otro lado, una vez que se tiene toda la información básica, y todos esos detalles, creo que es un software sencillo de manejar, y pienso que para el cliente al que se le hace la simulación es muy visual, al mismo tiempo de ser muy completo técnicamente.

## **V. LINEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN**

Una posible línea de investigación podría ser ampliar el software con una simulación de la ruta de vuelo, incluyendo las líneas isofónicas que se crean allá por donde pasa la aeronave.

Otra posibilidad más sencilla, podría ser la aplicación del software en una zona cercana a nuestro entorno, como podría ser el estudio para una pista nueva que se vaya a habilitar en el aeropuerto de Valencia. O incluso, evaluar una pista existente en dicho aeropuerto con medidas en una malla física diseñada previamente, y calcular la incertidumbre que introduce el software en su predicción.



**AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar quiero agradecer a mi familia y a mi pareja, el apoyo incondicional que me han dado en todos los momentos.

Además he de agradecer a todos los profesores del Máster de Ingeniería Acústica de Gandía, los conocimientos que me han aportado para mi futuro profesional.

He de hacer una especial mención a Eva M<sup>a</sup> Escuder y a Jesús Alba, directores de esta Tesina, por su especial atención y profesionalidad.

Por último, he de señalar el buen funcionamiento de la asistencia técnica del software, que me han ayudado siempre que lo he necesitado.

**REFERENCIAS**

- [1] D. Casalino, F. Diozzi, R. Sannino, A. Paonessa, *Aircraft noise reduction technologies: A bibliographic review*. Italian Aerospace Research Center, Italy, October 2007.
- [2] H.H. Browner, *On the effect of nonlinear propagation on perceived jet noise levels*, National Aerospace Laboratory NLR, The Netherlands, October 2007.
- [3] A. Depitre, *Noise Certification Workshop Noise*, International Civil Aviation Organization, Bangkok, November 2006.
- [4] *Mapas estratégicos de ruido, Aeropuerto de Valencia*, Ministerio de Fomento y Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea, Mayo 2007.
- [5] B. Lei, X. Yang, J. Yang, *Noise Prediction and control of Pudong International Airport Expansion Project*, Wuhan (China), March 2008.
- [6] *Integrated Noise Model 7.0 Users's Guide*, ATAC Corporation, Sunnyvale (United States), April 2007.
- [7] F. Wasmer, F. Maunsell, *NMPlot 4.96 User's Guide*, Wasmer Consulting, Gainesville (United States)1996-2009.
- [8] *Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure*, European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise, January 2006.
- [9] R. M. C. Miraflor, *Integrating a noise modeling capability with simulation*. Nasa Ames Research Center, California (U.S.A.), October 2002.
- [10] *Instrucciones para los datos asociados a los mapas estratégicos de ruido*, Ministerio de Fomento, Enero 2007.

## ANEXO I APLICACIONES RELACIONADAS CON EL SOFTWARE INM 7.0

Las aplicaciones que van a ayudar al INM 7.0 a tener un mejor funcionamiento, se describen en este anexo, ya que todos ellos por sí solos requieren una atención especial por su multitud de utilidades.

**NMPlot:** Esta aplicación se utiliza para ver y editar datos georeferenciados, que se conocen como mallas, las cuales cuantifican la localización geográfica. A parte de los niveles de ruido alrededor de un aeropuerto, que es por lo que se utiliza en este software, también incluye la lluvia que ha caído en un país durante todo un mes o la temperatura del agua en un lago, por ejemplo.

INM utiliza esta aplicación para realizar los contornos de ruido en un terreno, ya que es capaz de dibujar los contornos por gradientes de color, aplicar transformaciones matemáticas a los datos, combinar más de una malla y sobre todo y más importante, que se relaciona con los sistemas GIS.

Cómo se aplican las opciones más importantes, se ha ido viendo en la explicación del punto III de este documento, ya que si se quiere profundizar más se debe acudir al manual del usuario del NMPlot 4.96.

**CENSUS 2000 & TIGER 2000:** Estas dos aplicaciones se encuentran en el subdirectorio *INM7.0/process*, y se ejecutan desde dentro del mismo INM 7.0.

En primer lugar se ha de descargar el censo, que en este caso es el de E.E.U.U., desde [http://www2.census.gov/census\\_2000/datasets/redistricting\\_file--pl\\_94-171](http://www2.census.gov/census_2000/datasets/redistricting_file--pl_94-171), y en segundo lugar las calles donde se encuentra esa población, que es con lo que trabaja el TIGER 2000, esto será desde [http://www.census.gov/geo/www/tiger/rd\\_2ktiger/tgr2kweb.html](http://www.census.gov/geo/www/tiger/rd_2ktiger/tgr2kweb.html). Una aplicación trabaja con la otra así que es necesario descargar ambas.

De estas direcciones, se descarga en principio el estado que se desea, por ejemplo Illinois o todos los que se quieran. Cada uno, tiene su propio código y cada ciudad también tiene otro código diferente, todos ellos se encuentran detallados en dos ficheros .txt situados en *INM7.0/process/census/fipcode* y *fistate*. Por ejemplo Illinois tiene el código *17* y Adams el *001*.

Una vez están descargados los archivos .upl de las páginas mencionadas, desde el INM 7.0 se importan los puntos de población y las calles por *File / Import Data to Study* y se elige la aplicación de la que se quiere añadir información, el Census 2000,

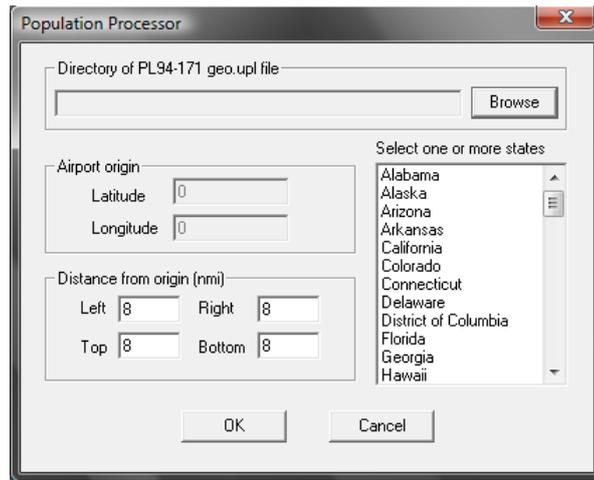


Figura de anexo 1: Importar datos de población

O del Tiger 2000,

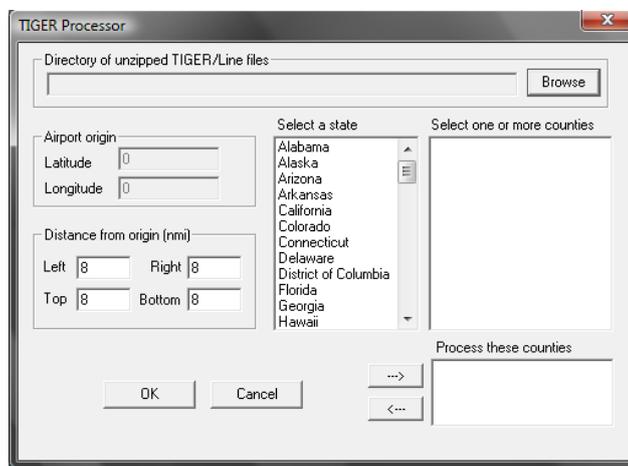


Figura de anexo 2: Importar datos de calles

Desde *Browse*, se elige el directorio donde previamente se ha colocado el archivo *xxgeo.upl*, y elegimos el estado *C:/INM data/ILgeo.upl*. De la misma manera se hará en el Tiger processor. Cuando se pincha OK tanto en el uno como en el otro se ejecutan en MSDos las aplicaciones, mostrando el nombre del fichero *geo*, el número de datos en el mismo, y el porcentaje que ha sido procesado. Cuando acaba de ejecutarse se aprieta cualquier tecla para volver al INM, habiéndose creado en el directorio del Estudio un fichero *\_cip.bin* y *pop\_pts.dbf*, que se utilizan a la hora de mostrar resultados.

Los códigos de los que se ha hablado anteriormente se utilizan cuando se ejecuta el Census 2000 o el Tiger 2000 fuera del INM 7.0, pero no se va a profundizar en este punto ya que no es de mucha utilidad para el manejo del software que se está estudiando en este documento.

**GVSIG:** El Gvsig es un programa orientado al manejo de la información geográfica (de sistema GIS). La aplicación es de código abierto por lo que se puede trabajar con él gratuitamente, y se

puede utilizar para presentar información que se pide desde la Directiva 2002/49 en los mapas estratégicos de ruido.

En este programa se puede insertar una capa de curvas isófonas, además de todas las que se introducen previamente y después como edificios, población... Estas isófonas se insertan desde un fichero de extensión .shp(shape), que se crea previamente desde la aplicación NMPlot como ya se a visto. A partir de todas las capas introducidas, se pueden obtener mapas de niveles sonoros, de exposición, de zonas de afección y conseguir resaltar las zonas de conflicto, las cuales son el objetivo principal de un estudio de estas características.

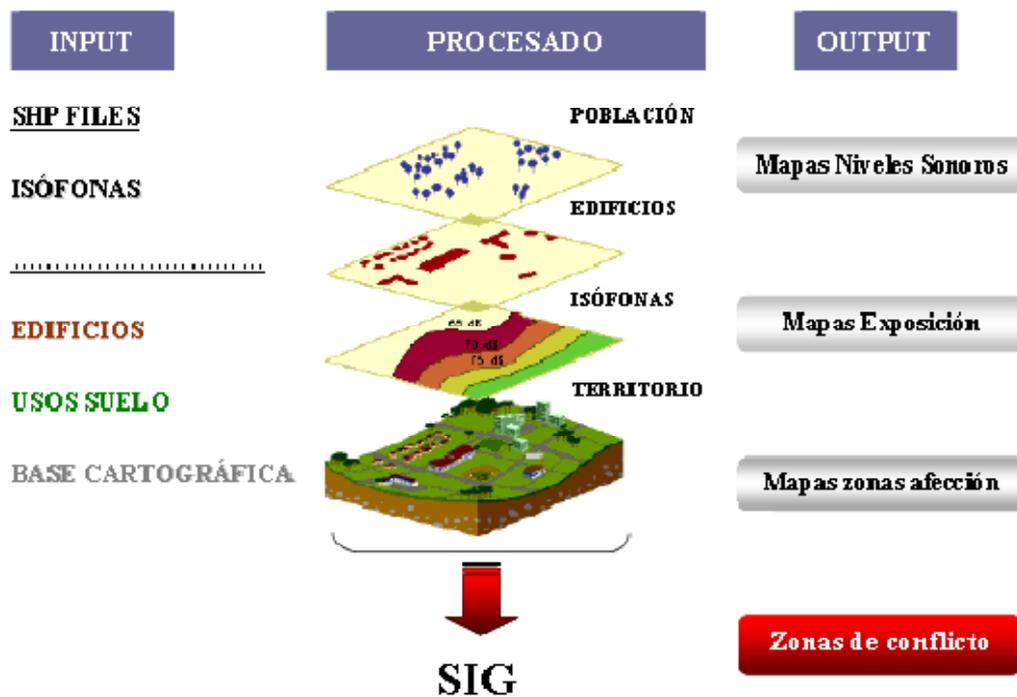


Figura de anexo 3: Funcionamiento del GVSIG

Desde la figura de anexo 3, se puede ver esquemáticamente el funcionamiento de este programa sin necesidad de entrar en más detalle.

## **ANEXO II DOCUMENTACIÓN EN LA QUE SE BASAN LOS CÁLCULOS DEL MODELO INM**

Los cálculos del modelo INM se recogen de diferente documentación de distintas Asociaciones, Comités y Confederaciones internacionales. En este anexo se citan las más significativas, ya que es esta documentación la que compone el modelo INM.

### Federal Aviation Administration (FAA)

FAR Part 150	“Airport Noise Compatibility Planning Program”
FAR Part 161	“Notice and Approval of Airport Noise and Access Restrictions”
FAR Part 36	“Noise standards: Aircraft type and airworthiness certification”
FAR Pat 25	“Airworthiness standards: Transport category airplanes”

### Society of Automotive Engineers (SAE)

SAE-AIR-1845	“Procedure for the Calculation of Airplane Noise in the Vicinity of Airports”
SAE-AIR-5662	“Method for Predicting Lateral Attenuation of Airplane Noise”
SAE-ARP-866A	“Standard Values of atmospheric Absorption a Function of Temperature and Humidity”

### European Civil Aviation Conference (ECAC)

ECAC Doc 29	“Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports”
-------------	---

### International Civil Aviation Organization (ICAO)

ICAO Circular 205	“Recommended Method for Computing Noise Contour Around Airports”
-------------------	--

### ANEXO III BASES DE DATOS DEL SOFTWARE INM 7.0

Durante todo este documento, se ha estado hablando de datos que se introducen en el software. Estos datos, se pueden descargar gratuitamente desde <http://www.aircraftnoisemodel.org/index.php/>, en formato de hoja de cálculo o desde la misma dirección, se van abriendo pestañas donde se escogen los datos que se van a consultar. Por ejemplo, se puede escoger que se muestre por tablas los datos de las curvas NPD, en la pestaña *Table Selection*, se opta por NPD Data, y se pincha en *Visualise table*, para que se abra otra ventana con los datos que se han pedido, si se pincha en *Download table*, se descarga la hoja de cálculo.



Figura de anexo 4: Selección de tablas de datos

La figura de anexo 5, muestra el formato de ventana, y la 6 el formato de hoja de cálculo.

NPD DATA													
NPD_ID	Noise Metric	Op Mode	Power Setting (°)	L_200ft	L_400ft	L_630ft	L_1000ft	L_2000ft	L_4000ft	L_6300ft	L_10000ft	L_16000ft	L_25000ft
2CF850	EPNL	A	10000.00	106.2	101.1	97.2	92.5	84.2	75.0	68.0	61.4	53.4	43.3
2CF850	EPNL	A	25000.00	109.8	105.1	101.5	97.3	90.3	82.0	76.0	70.0	62.7	53.9
2CF850	EPNL	D	25000.00	109.8	105.1	101.5	97.3	90.3	82.0	76.0	70.0	62.7	53.9
2CF850	EPNL	D	40000.00	113.0	108.6	105.2	101.5	95.6	88.2	83.1	77.5	70.8	63.3
2CF850	LAmx	A	10000.00	99.2	91.9	86.7	81.0	72.1	63.0	56.7	49.6	41.6	33.1
2CF850	LAmx	A	25000.00	105.3	98.3	93.4	88.0	79.5	70.5	64.3	57.4	49.7	41.5
2CF850	LAmx	D	25000.00	105.3	98.3	93.4	88.0	79.5	70.5	64.3	57.4	49.7	41.5
2CF850	LAmx	D	40000.00	109.1	102.3	97.6	92.5	84.3	75.4	69.3	62.6	55.1	47.2
2CF850	SEL	A	10000.00	99.9	95.0	91.4	87.5	81.3	74.6	69.7	64.2	57.7	50.7
2CF850	SEL	A	25000.00	103.7	99.3	96.1	92.7	87.1	80.6	75.8	70.5	64.3	57.5
2CF850	SEL	D	25000.00	103.7	99.3	96.1	92.7	87.1	80.6	75.8	70.5	64.3	57.5
2CF850	SEL	D	40000.00	106.8	102.9	100.1	97.1	92.0	85.8	81.0	75.9	69.9	63.4
2CF880	EPNL	A	7000.00	104.4	99.5	95.8	91.6	84.1	76.3	71.1	65.8	60.3	55.1
2CF880	EPNL	A	12000.00	105.5	101.5	97.7	93.5	85.7	78.1	73.0	67.9	62.6	57.6
2CF880	EPNL	D	17000.00	107.1	102.5	99.1	94.5	86.9	79.5	75.3	69.5	64.0	58.4
2CF880	EPNL	D	25000.00	107.4	102.9	99.5	95.9	89.2	82.2	77.4	71.8	65.9	59.8
2CF880	EPNL	D	33000.00	107.7	103.7	100.7	97.1	91.8	85.5	80.7	75.2	69.0	62.6
2CF880	EPNL	D	41000.00	111.6	107.8	105.0	102.1	96.9	90.6	85.8	80.3	74.1	67.7
2CF880	SEL	A	7000.00	98.1	93.9	90.8	87.4	81.4	75.0	70.3	65.7	60.6	55.7
2CF880	SEL	A	12000.00	99.3	95.0	91.9	88.5	82.5	76.2	71.7	67.2	62.3	57.6
2CF880	SEL	D	17000.00	100.0	95.6	92.6	89.3	83.7	77.6	73.1	68.5	63.4	58.4
2CF880	SEL	D	25000.00	100.3	96.7	93.9	90.9	85.9	79.8	75.4	70.5	65.2	59.8
2CF880	SEL	D	33000.00	103.3	99.9	97.3	94.5	89.7	83.6	79.2	74.3	69.0	63.5
2CF880	SEL	D	41000.00	106.2	103.1	100.8	98.2	93.6	87.6	83.1	78.1	72.5	66.8
2CF88D	EPNL	A	10020.00	101.6	97.0	93.0	89.0	82.1	75.5	70.1	64.3	58.1	52.3
2CF88D	EPNL	A	23190.00	110.9	106.0	102.2	98.7	90.1	81.7	75.7	69.3	62.5	55.9
2CF88D	EPNL	D	25940.00	110.7	104.2	100.2	96.2	89.5	81.2	75.2	68.4	61.2	54.2
2CF88D	EPNL	D	39180.00	112.2	106.7	103.2	99.5	93.2	86.2	80.7	74.2	67.2	60.2
2CF88D	EPNL	D	51530.00	114.7	110.2	107.2	104.2	98.7	92.4	88.0	82.0	75.2	68.5
2CF88D	EPNL	D	55500.00	117.2	112.7	110.0	107.2	101.8	96.2	91.7	86.7	80.2	73.7

Figura de anexo 5: Base de datos desde ventana gráfica

NPD ID	Noise Metric	Op Mode	Power Setting	L_200ft	L_400ft	L_630ft	L_1000ft	L_2000ft	L_4000ft	L_6300ft	L_10000ft	L_16000ft	L_25000ft	
2	2CF650	EPNL	A	10000	106.2	101.1	97.2	92.5	84.2	75	68	61.4	53.4	43.3
3	2CF650	EPNL	A	25000	109.8	105.1	101.5	97.3	90.3	82	76	70	62.7	53.9
4	2CF650	EPNL	D	25000	109.8	105.1	101.5	97.3	90.3	82	76	70	62.7	53.9
5	2CF650	EPNL	D	40000	113	108.6	105.2	101.5	95.6	88.2	83.1	77.5	70.8	63.3
6	2CF650	LAmix	A	10000	99.2	91.9	86.7	81	72.1	63	56.7	49.6	41.6	33.1
7	2CF650	LAmix	A	25000	105.3	98.3	93.4	88	79.5	70.5	64.3	57.4	49.7	41.5
8	2CF650	LAmix	D	25000	105.3	98.3	93.4	88	79.5	70.5	64.3	57.4	49.7	41.5
9	2CF650	LAmix	D	40000	109.1	102.3	97.6	92.5	84.3	75.4	69.3	62.6	55.1	47.2
10	2CF650	SEL	A	10000	99.9	95	91.4	87.5	81.3	74.6	69.7	64.2	57.7	50.7
11	2CF650	SEL	A	25000	103.7	99.3	96.1	92.7	87.1	80.6	75.8	70.5	64.3	57.5
12	2CF650	SEL	D	25000	103.7	99.3	96.1	92.7	87.1	80.6	75.8	70.5	64.3	57.5
13	2CF650	SEL	D	40000	106.8	102.9	100.1	97.1	92	85.8	81	75.9	69.9	63.4
14	2CF680	EPNL	A	7000	104.4	99.5	95.8	91.6	84.1	76.3	71.1	65.8	60.3	55.1
15	2CF680	EPNL	A	12000	106.5	101.5	97.7	93.5	85.7	78.1	73	67.9	62.6	57.6
16	2CF680	EPNL	D	17000	107.1	102.5	99.1	94.5	86.9	79.5	75.3	69.5	64	58.4
17	2CF680	EPNL	D	25000	107.4	102.9	99.5	95.9	89.2	82.2	77.4	71.8	65.9	59.8
18	2CF680	EPNL	D	33000	107.7	103.7	100.7	97.1	91.8	85.5	80.7	75.2	69	62.6
19	2CF680	EPNL	D	41000	111.6	107.8	105	102.1	96.9	90.6	85.8	80.3	74.1	67.7
20	2CF680	SEL	A	7000	98.1	93.9	90.8	87.4	81.4	75	70.3	65.7	60.6	55.7
21	2CF680	SEL	A	12000	99.3	95	91.9	88.5	82.5	76.2	71.7	67.2	62.3	57.6
22	2CF680	SEL	D	17000	100	95.6	92.6	89.3	83.7	77.6	73.1	68.5	63.4	58.4
23	2CF680	SEL	D	25000	100.3	96.7	93.9	90.9	85.9	79.8	75.4	70.5	65.2	59.8
24	2CF680	SEL	D	33000	103.3	99.9	97.3	94.5	89.7	83.6	79.2	74.3	69	63.5
25	2CF680	SEL	D	41000	106.2	103.1	100.8	98.2	93.6	87.6	83.1	78.1	72.5	66.8
26	2CF680	FPNI	A	10020	101.6	97	93	89	82.1	75.5	70.1	64.3	58.1	52.3

Figura de anexo 6: Base de datos desde hoja de cálculo

De esta manera todo el desplegable de la base de datos puede mostrar tablas de:

- Aviones
- Coeficientes de los motores a reacción
- Coeficientes de los motores de hélice
- Coeficientes aerodinámicos
- Pesos de los motores
- Partes del despegue de todos los aviones
- Partes del aterrizaje de todos los aviones
- Curvas NPD
- Curvas espectrales de los motores