



**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE  
TELECOMUNICACIÓN**

**Titulación :**

**INGENIERO TÉCNICO DE TELECOMUNICACIÓN,  
ESPECIALIDAD EN SONIDO E IMAGEN**

**Título del proyecto:**

**ESTUDIO DEL PROGRAMA *SOUNDPLAN* PARA LA  
EVALUACIÓN DEL IMPACTO ACÚSTICO DE  
INFRAESTRUCTURAS AEROPORTUARIAS.**

Alumno: Juan Carlos Salinas Hilburg

Tutores: Miguel Arana Burgui y Ricardo San Martín Murugarren

Pamplona, 28 de Julio de 2010

# Índice

<b>1. Objetivo.....</b>	<b>5</b>
1.1. Objetivos principales.....	5
1.2. Objetivos secundarios.....	5
<b>2. Introducción.....</b>	<b>5</b>
<b>3. Manual para el manejo del módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPLAN.....</b>	<b>7</b>
3.1. Creación de un Nuevo Proyecto.....	10
3.2. Elección del método de cálculo.....	11
3.3. Datos de entrada.....	15
3.3.1. Datos geográficos del aeropuerto.....	16
3.3.2. Definición de las pistas en el aeropuerto.....	19
3.3.3. Historial de tráfico (Solo para el caso del estándar AzB 2008).....	24
3.3.4. Trayectorias de los vuelos.....	29
3.3.4.1. Trayectorias para el caso de estándares diferentes del AzB 2008.....	29
3.3.4.2. Trayectorias para el caso del estándar AzB 2008.....	37
3.3.5. Clases de aeronaves.....	43
3.3.5.1. Grupos de aeronaves en SoundPlan.....	44
3.3.5.2. Librería de las clases de aeronaves.....	47
3.3.5.2.1. Pestaña Properties.....	48
3.3.5.2.2. Pestaña Profiles.....	59
3.3.6. Datos de tráfico.....	69
3.3.7. Diagnóstico de errores.....	73

3.3.8. Flujo y estructura de datos.....	74
3.4. Base de datos GEO.....	75
3.5. Cálculos.....	78
3.6. Resultados y Gráficos.....	91
3.6.1. Módulo Result Tables.....	91
3.6.2. Módulo Graphics.....	93
<b>4. Análisis comparativo entre resultados experimentales de afección y predichos para el Aeropuerto de Pamplona. Elaboración del mapa de ruido del aeropuerto de pamplona.....</b>	<b>96</b>
4.1. Descripción general de la zona de estudio.....	97
4.1.1. Características generales del Aeropuerto de Pamplona.....	97
4.1.2. Descripción de las pistas del Aeropuerto de Pamplona.....	101
4.2. Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona.....	103
4.2.1. Modelo computacional de simulación.....	103
4.2.2. Escenarios de simulación y parámetros de entrada.....	103
4.2.2.1. Características geográficas del aeropuerto y de las pistas.....	104
4.2.2.2. Trayectorias y régimen de utilización de las pistas.....	106
4.2.2.3. Clases de aeronaves.....	110
4.2.2.4. Datos de tráfico.....	112
4.2.2.5. Modelo digital del terreno y situación de cálculo.....	117
4.2.3. Índices de ruido.....	118
4.2.4. Resultados.....	119
4.2.4.1. Configuración de la malla (Grid) y altura del receptor.....	119
4.2.4.2. Mapas de ruido del Aeropuerto de Pamplona.....	120
4.2.4.3. Simulaciones con datos de los años 2007 y 2009.....	137
4.2.4.4. Valores experimentales.....	145

<b>5. Análisis comparativo entre los niveles de afección provocados por una aeronave con motor de hélice y otra con motor a reacción.....</b>	<b>148</b>
5.1. Escenario de cálculo y clases de aeronaves a comparar.....	148
5.2. Resultados.....	150
<b>6. Análisis de la variable meteorológica viento en SoundPlan.....</b>	<b>154</b>
<b>7. Conclusiones.....</b>	<b>157</b>
<b>8. Bibliografía.....</b>	<b>161</b>
<b>9. Anexos.....</b>	<b>164</b>
9.1. Algoritmo ejecutado por el programa Soundplan para realizar los cálculos de ruido de aeronaves.....	164
9.2. Algoritmo utilizado por el programa SoundPlan para implementar el estándar ECAC.CEAC Doc 29.....	168
9.3. Tipos de aeronaves y su asociación con los grupos de la AzB.....	169



## **1. Objetivo**

### **1.1. Objetivos principales**

- Estudio en detalle del módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPlan<sup>1</sup> para evaluar el impacto acústico de las infraestructuras aeroportuarias.
- Análisis comparativo entre resultados experimentales de afección y simulados para el Aeropuerto de Pamplona. Elaboración del Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona.

### **1.2. Objetivos secundarios**

- Análisis comparativo de los niveles máximos sonoros entre aeronaves con motor de hélice y aeronaves con motor a reacción utilizando el programa SoundPlan.
- Análisis comparativo de los niveles Lden entre resultados con viento moderado y viento en calma utilizando el programa SoundPlan.

## **2. Introducción**

En el presente documento se expone el estudio en detalle del programa SoundPlan así como la elaboración del Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona, de acuerdo con la Directiva Europea 2002/49/CE sobre Ruido Ambiental del 25 de junio de 2002 donde se establece la obligatoriedad de la

---

<sup>1</sup> Se ha trabajado con la versión 7.0.



evaluación y gestión del ruido medio ambiental generado por grandes infraestructuras aeroportuarias. Asimismo, se tiene en cuenta la transposición al ordenamiento jurídico español mediante la Ley de Ruido del 17 de noviembre de 2003 y los Reales Decretos: RD 1513/2005 y RD 1367/2007.

En dichos documentos se establece la obligación de realizar mapas de ruido para los grandes aeropuertos mediante modelos de predicción o medidas experimentales. En el caso del Aeropuerto de Pamplona se ha realizado el mapa de ruido mediante el programa SoundPlan, éste implementa el modelo alemán AzB pero a su vez tiene en cuenta el modelo recomendado por la Directiva Europea 2002/49/CE: ECAC.CEAC Doc 29 *“Informe sobre el método estándar de cálculo de niveles de ruido en el entorno de aeropuertos civiles”*.

El documento está claramente dividido en cuatro partes:

- La primera parte describe de una manera clara y concisa el funcionamiento del módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPlan. Para ello se ha realizado un *“Manual para el manejo del módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPlan”*.
- La segunda parte expone el estudio del Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona calculado con el módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPlan. En el apartado *“Análisis comparativo entre resultados experimentales de afección y predichos para el Aeropuerto de Pamplona. Elaboración del Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona”* se explica la introducción de datos y parámetros de entrada en el escenario de simulación.
- La tercera parte presenta el análisis comparativo entre los niveles de afección de las aeronaves con motor de hélice y las aeronaves con motor a reacción.

- En la cuarta y última parte se presenta el análisis comparativo entre los niveles Lden calculados con el viento en calma y los calculados con viento moderado.

También se presenta un apartado de conclusiones donde se recopilan todos los resultados y análisis obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

Por último, un apartado de anexos se encarga de contener información complementaria al proyecto.

### **3. Manual para el manejo del módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPLAN**

SoundPlan es un programa profesional, creado por la compañía alemana Braunstein + Berndt, que simula distintos escenarios tanto de contaminación acústica como de contaminación del aire. El modelado del ruido se basa en el ruido producido por el tráfico, el ruido en interiores y exteriores, el ruido industrial y el ruido de aeronaves.

El programa se compone de diferentes módulos:

- **El módulo base:** Administrador SoundPLAN, base de datos geográfica (Geo-Database), hojas de cálculo, tablas de resultados y gráficos.
- **El módulo de ruido:** ruido de carretera, ruido ferroviario, ruido de industria y ruido de las aeronaves.
- **El módulo de gráficos:** Mapas de ruido, Mapa de Ruido Fachada, Cartografía, gráficos en 3D y animaciones en 3D.



- **El módulo de herramientas:** Diseño de pantallas acústicas, dimensionamiento de ventanas, cálculo distribuido, etc.

En relación a los cálculos SoundPlan tiene implementados más de 50 estándares para satisfacer las demandas de los distintos países, además, posee diversas librerías con datos que se ajustan a dichos estándares.

El módulo de ruido de aeronaves permite el cálculo del nivel de ruido en las cercanías de un aeropuerto. Tanto los parámetros de entrada como los cálculos se basan en los estándares alemanes: AzB (Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm)<sup>2</sup> y DES (Datenerfassungssystem)<sup>3</sup>. Dichos estándares han sido desarrollados bajo la tutela del *Ministerio Interior Alemán (Bundesminister des Inneren)*. SoundPlan tiene en cuenta el estándar AzB del año 1975 y también el AzB del año 2008.

El programa permite hacer uso de otros estándares diferentes al estándar AzB. La elección del estándar definirá el método de cálculo, dichos métodos de cálculo son los siguientes: AzB, AzB 2008, ECAC Doc. 29, DIN 45643, DIN 45684, Öal 24 y Swiss Aircraft Noise Calculation (SANC).

El estudio del impacto acústico del ruido de aeronaves en el programa SoundPlan está dividido en tres partes fundamentales:

- *Escenario de cálculo*
- *Cálculos*
- *Resultados y gráficos*

El *escenario de cálculo* lleva consigo la importante tarea de definir los parámetros de entrada. Está formado por módulos independientes entre sí que definen todo el escenario de cálculo.

<sup>2</sup> *Instrucciones para el cálculo de las zonas de ruido en conformidad con la ley para la protección contra el ruido producido por las aeronaves.*

<sup>3</sup> *Sistema de adquisición de datos.*

En la parte de *cálculos* se define la situación y se realizan cálculos tanto para retículas (*grids*) como para receptores puntuales.

Finalmente, en la parte *resultados y gráficos* se observan y analizan todos los resultados. Aquí se obtienen los mapas de ruido.

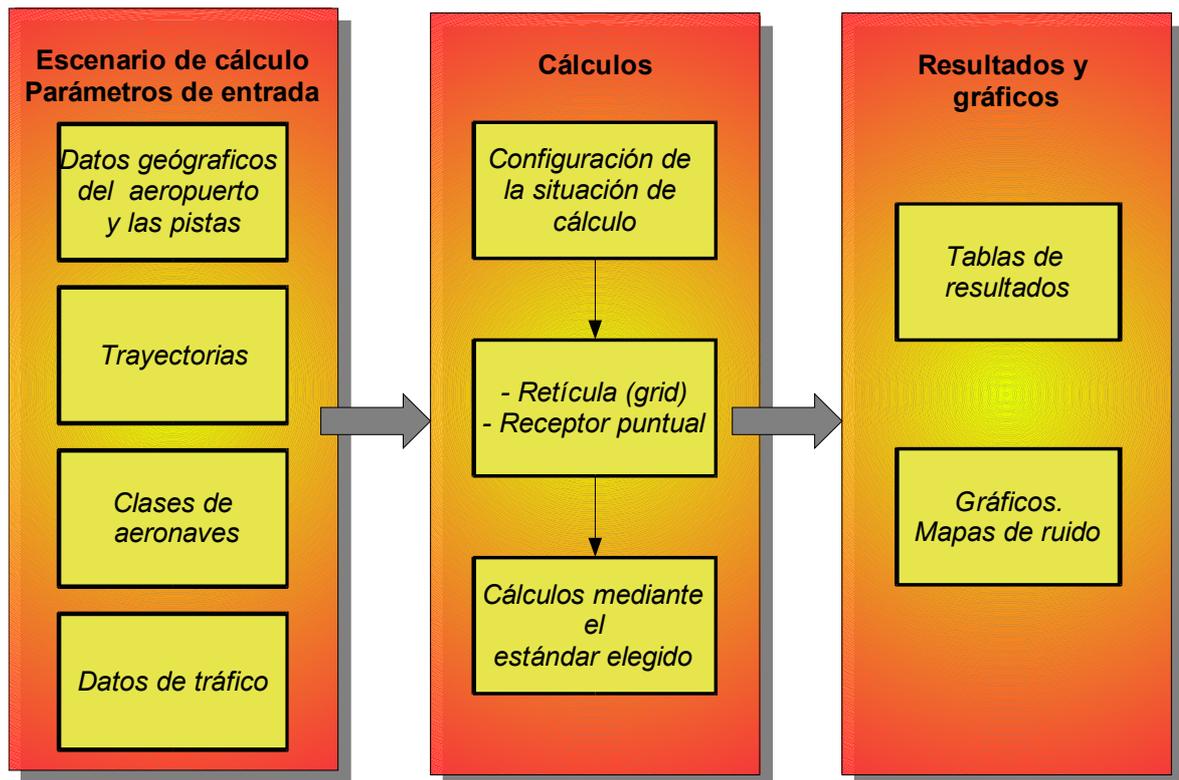


Figura 1: Módulo de ruido de aeronaves. SoundPlan

Este manual describe el proceso que hay que seguir para realizar los cálculos de los niveles sonoros alrededor de un aeropuerto. La organización del proceso es el siguiente:

- *Creación de un Nuevo Proyecto.*
- *Elección del método de cálculo.*
- *Introducción de los datos de entrada.*
- *Base de datos GEO.*
- *Cálculos.*
- *Resultados y gráficos.*

### 3.1. Creación de un Nuevo Proyecto

Para crear un nuevo proyecto se debe ir a la pestaña *Project* y luego seleccionar *New* (*Project* → *New/Select*). Una vez hecho esto se abrirá una ventana donde se podrá elegir un proyecto existente o crear uno nuevo seleccionando el icono azul (Figura 2). Los proyectos en SoundPlan están presentes en la lista de selección como carpetas azules para diferenciarse del resto de documentos.

Cuando se crea un proyecto nuevo se debe asignar el nombre del proyecto, el ingeniero y el cliente. Luego en *Description* se puede hacer una pequeña descripción del proyecto, la cual se puede modificar en cualquier momento del transcurso de la realización del proyecto haciendo click en *Project* → *Info*.

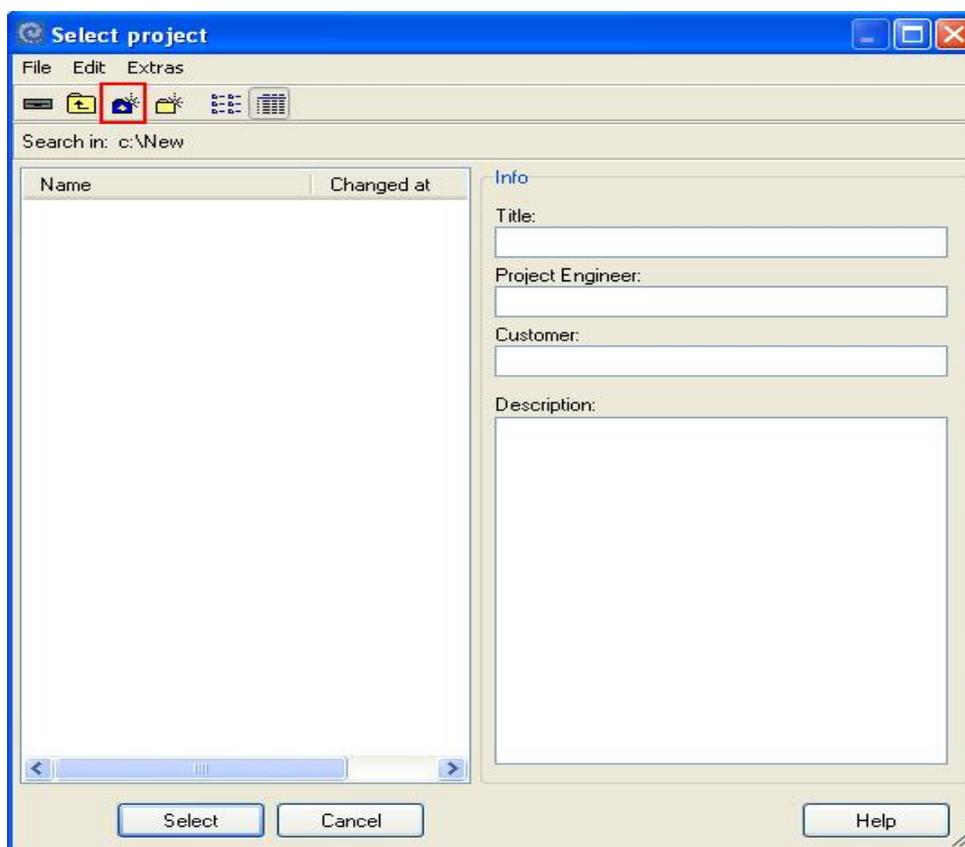


Figura 2: Creación de un Nuevo Proyecto.

El proyecto creado se guardará en la ruta (*Path*) que se haya elegido y dentro se creará una carpeta donde se guardarán todos los datos relativos al proyecto, incluyendo resultados y gráficos. La carpeta tendrá el mismo nombre que el definido en la ventana *Select Project*.

### 3.2. Elección del método de cálculo

Para elegir el método de cálculo hay que ir a la pestaña *Options* y luego seleccionar *Settings (Options → Settings)*<sup>4</sup>. Desde la ventana de *Settings* se puede elegir el método de cálculo según los estándares disponibles (Figura 3) y haciendo click en el icono de la derecha se pueden establecer los parámetros de cálculo (Figura 4).

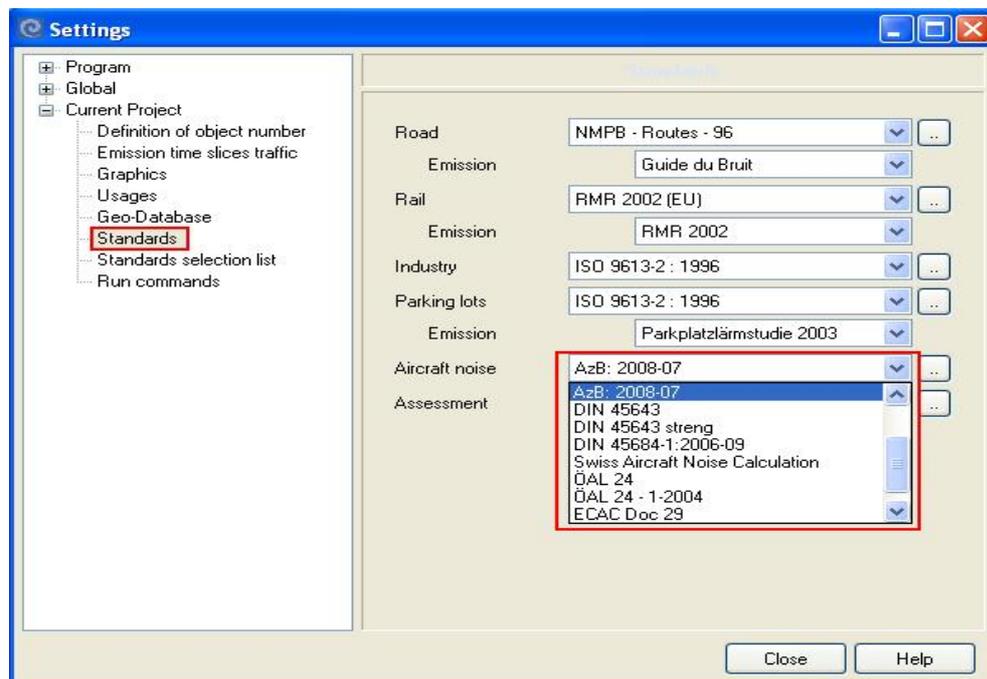


Figura 3: Elección del estándar.

<sup>4</sup> También se puede acceder haciendo click sobre la parte inferior de la ventana principal llamada *Standards*.

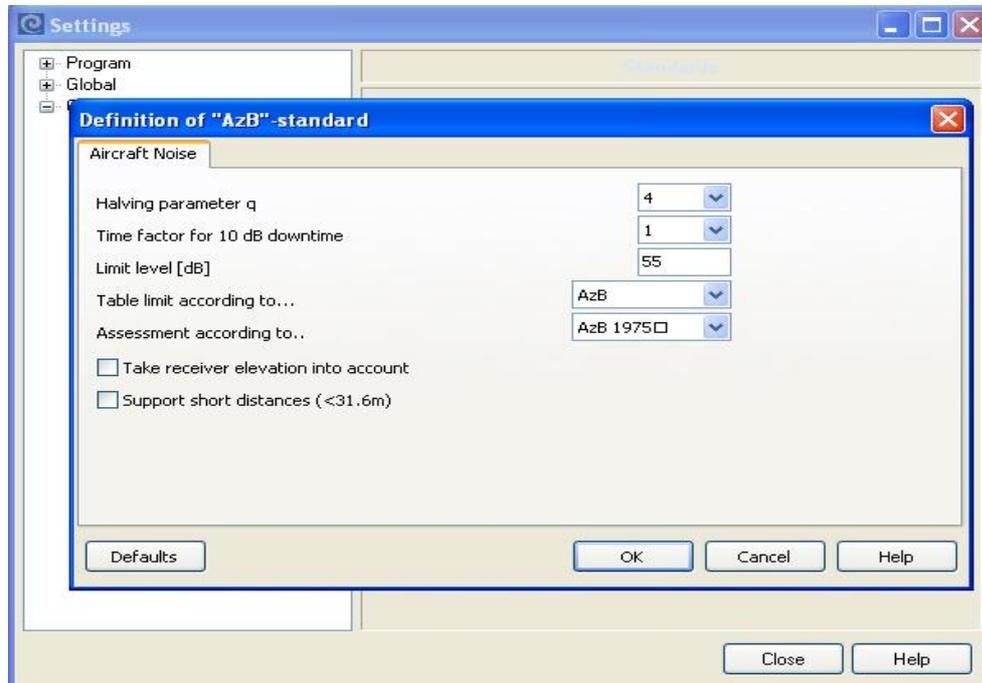


Figura 4: Parámetros de cálculo.

Los parámetros de cálculo varían con respecto a cada estándar pero los más relevantes son los siguientes:

- **Halving Parameter q:**

Puede tener el valor 3 o 4 e indica en cuanto se aumenta el *nivel de presión sonora* al duplicar el tráfico. Por ejemplo, si asignamos el 3, al duplicar el tráfico aumentará el *nivel de presión sonora* en 3 dB. Todos los estándares tienen un valor prefijado y en algunos casos no se puede cambiar.

Este valor también se puede entender como el factor que acompaña al logaritmo en el momento de calcular el *nivel de presión sonora*. Por lo tanto,

- si  $q=3 \rightarrow 10 \cdot \text{Log} \dots$
- si  $q=4 \rightarrow 13.3 \cdot \text{Log} \dots$

Por ejemplo, el estándar alemán AzB ha implantado el siguiente índice:

$$L_{eq(4)} = 13.3 \cdot \lg \left[ \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^N g_i \cdot 10^{L_{Amax,i}/13.3} \cdot t_{10} \right]$$

El  $L_{eq}$  es el valor equivalente del sonido a lo largo del período  $T$ , que abarca 6 meses. El valor de  $L_{Amax}$  es el máximo nivel de cada evento  $i$ -ésimo. Por último, el factor de penalización  $g$  depende del periodo del día (6-22 h y 22-6 h). En este caso  $g$  es igual a 4.

- **Time factor for 10 dB downtime ( $t_{10}$ ):**

Puede tener el valor 1 o 0.5 y se define como el factor por el que va multiplicado el  $t_{10}$ . El  $t_{10}$  es el período de tiempo en el cual el *nivel de presión sonora* está 10 dB por debajo del *nivel máximo* (Figura 5).

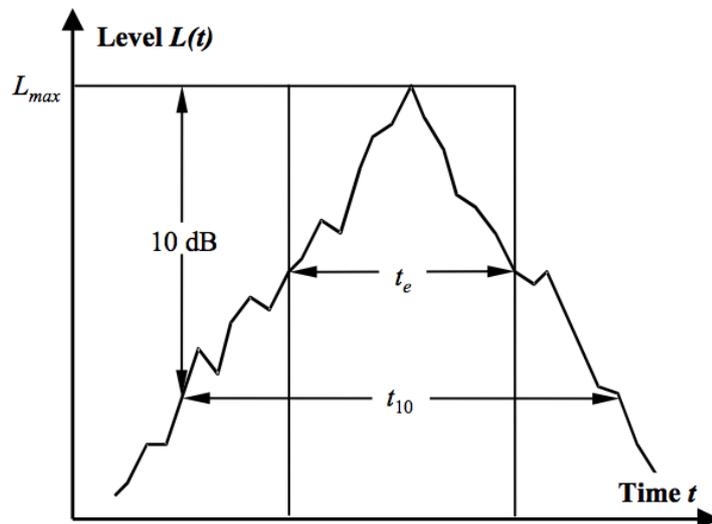


Figura 5:  $t_{10}$

- **Limit Level (dB):**

Se puede establecer el nivel límite que funcionará como umbral en decibelios para calcular el nivel de presión sonora con una fórmula u otra. Es un valor que depende del estándar elegido. Por ejemplo, en el caso del estándar AzB el valor límite es 55 dB. Esto indica que cuando el nivel de presión sonora está por debajo de ese valor no se tomará en cuenta la dispersión lateral, es decir, el corredor (Ver apartado de trayectorias).

- **Table limit according to:**

Existe la posibilidad de escoger una tabla entre 4 opciones: *No limit*, *VBUF-AzB*, *AzB* y *LAI 2000*.

Estas tablas determinan la distancia límite (en metros<sup>5</sup>) a la cual el ruido generado por una aeronave es relevante. Cuando los valores son mayores a la distancia límite se considera que el ruido generado por la aeronave es nulo. Las tablas se calculan en el módulo de clases de aeronaves (*Classes*).

- **Assesment according to:**

Aquí se escoge el índice de cálculo. Depende del estándar pero los más usuales son el Lden, Leq, Ldn y el índice del AzB 1975.

- **Take receiver elevation into account:**

Si esta opción no está habilitada el programa tomará como elevación para todos los receptores la altura del punto de referencia de la pista.

---

<sup>5</sup> En realidad las tablas consideran el logaritmo de la distancia en metros.

### 3.3. Datos de entrada

Los datos de entrada se introducen en el módulo *Aircraft Noise Definition* (*Execute*→*Aircraft Noise Definition*). Es aquí donde se introducen los parámetros de entrada de la situación que se quiera simular:

- Datos geográficos del aeropuerto y de las pistas.
- Trayectorias de cada clase de aeronave.
- Las clases de aeronaves.
- Datos de tráfico de cada clase de aeronave.
- Historial del tráfico (solo para el estándar AzB 2008)

La interfaz del módulo de ruido de aeronaves es similar para todos los estándares excepto para el estándar AzB 2008 que separa la información en diversas pestañas. La ventana principal del módulo (Figura 6 y 7) muestra claramente donde se definen los datos geográficos del aeropuerto, las trayectorias, la introducción de las clases de aeronaves y los datos de tráfico.

**2.1. Airport**

2.1.1. Name: New Airport

2.1.2. Airport reference point (ARP):  
Geogr. latitude and longitude [°:':"] N 0 0 0,0000 E 0 0 0,0000  
Gauss-Krueger-Coordinates (UTM) (x) 610874,110 (y) 4736441,540 [m]  
Influence radius 20000,00 [m]

2.1.3. Airport elevation (z) 455,00 [m]

**2.1.4. Runways**

New 90 / New 270

Name	New 90 / New 270
Condition	projected
Compass Angle [deg]	155,0000 / 335,0000
Total length [m]	2000,00
Width [m]	30,00
Coordinates of runway reference point (RRP) [°:':"]	N 0 0 0,0000 E 0 0 0,0000
Distance of RRP to ARP [m]	(dx) 0,00 (dy) 0,00
Distance of start of roll to RRP [m]	1000,00 / 1000,00
Distance of approach threshold to RRP [m]	1000,00 / 1000,00
Density-1-region [m]	1500,00 / 1500,00
Offset of approach thresholds [m]	0,00 / 0,00
Meridian convergence [°:':"]	0 0 0,0000

Figura 6: Datos de entrada

Figura 7: Datos de entrada AzB 2008

### 3.3.1. Datos geográficos del aeropuerto

Los datos geográficos del aeropuerto son fundamentales para definir el sistema de coordenadas de referencia. El programa tendrá en cuenta los datos del sistema de coordenadas de referencia para realizar los cálculos correspondientes.

El sistema de referencia se representa mediante las variables espaciales  $\sigma$  y  $\sigma'$  (Figura 8). El valor de  $\sigma$  indica la posición de la aeronave con respecto al punto de referencia de la pista (RRP) y el valor de  $\sigma'$  representa la posición de la aeronave con respecto al punto de despegue o de aterrizaje. Tanto  $\sigma$  como  $\sigma'$  se

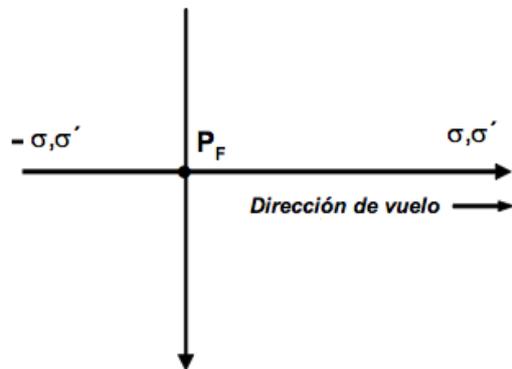
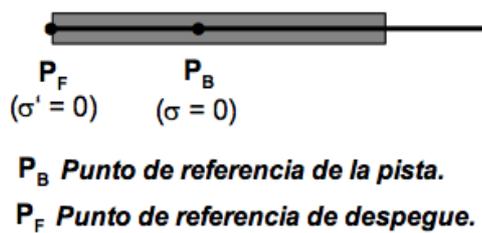
suelen llamar longitudes de arco porque además de representar líneas rectas también representan líneas curvas, es decir, la trayectoria típica de una aeronave.

La relación entre las longitudes de arco es:

$$\sigma' = \sigma - \sigma_0$$

El valor de  $\sigma_0$  es la distancia entre  $\sigma$  y  $\sigma'$ . Sirve para realizar una transformación de coordenadas entre  $\sigma$  y  $\sigma'$ .

**(a) Trayectoria de despegue**



**(b) Trayectoria de aterrizaje**

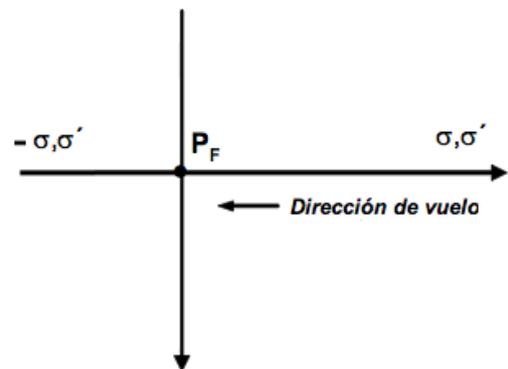
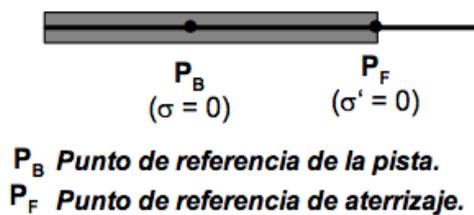


Figura 8: Sistema de referencia

En el caso de estándares diferentes al AzB 2008 los datos geográficos del aeropuerto se introducen en la sección *Airport* (Figura 9). Dichos datos son:

- **Name:**

Nombre del aeropuerto en estudio.

- **Airport Reference Point (ARP):**

Todo aeropuerto tiene un punto de referencia. El punto de referencia de un aeropuerto es el punto central hipotético de un aeropuerto y en general se toma como el centro geométrico de todas las pistas útiles. Se debe introducir la posición del ARP en coordenadas UTM, las coordenadas geográficas son meramente informativas, no se utilizan para los cálculos.

- **Airport Elevation:**

Aquí se debe introducir la altura del aeropuerto en metros. Además se define el radio de influencia alrededor de las pistas del aeropuerto.

**2.1. Airport**

2.1.1. Name	<input type="text" value="New Airport"/>								
2.1.2. Airport reference point (ARP):									
Geogr. latitude and longitude [°:':"]	N	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0,0000"/>	E	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0"/>	<input type="text" value="0,0000"/>	
Gauss-Krueger-Coordinates (UTM)	(x)	<input type="text" value="610874,110"/>		(y)	<input type="text" value="4736441,540"/>			[m]	
2.1.3. Airport elevation	(z)	<input type="text" value="455,00"/>		[m]	Influence radius	<input type="text" value="20000,00"/>			[m]

Figura 9: Datos geográficos del aeropuerto

Para el estándar AzB 2008 la introducción de los datos geográficos del aeropuerto se lleva a cabo en la pestaña *Airport Data* (Figura 10). Los datos que se deben introducir son exactamente iguales a los anteriormente explicados

excepto que existe la opción de introducir el código ICAO<sup>6</sup> del aeropuerto (*ICAO Airport Code*<sup>7</sup>).

Field	Value
5.2.1 Name	New Airport
ICAO airport code	EDDI
5.2.2 Airport reference point (ARP)	
Geogr. latitude and longitude [":'"]	N 0 0 0,0000 E 0 0 0,0000
UTM-Coordinates	(x) 610874,110 [m] (y) 4736441,540 [m]
5.2.3 Airport elevation [m] (informative)	(z) 455,00 [m] Influence radius 7500,00 [m]

Figura 10: Datos geográficos del aeropuerto. AzB 2008

### 3.3.2. Definición de las pistas en el aeropuerto

En el caso de estándares diferentes al AzB 2008 la cantidad de pistas del aeropuerto y sus características se definen en la sección *Runways* (Figura 11).

El programa añade una pista al aeropuerto por defecto (ya que no se admite que el aeropuerto no tenga ninguna pista), si se desean añadir más pistas habrá que hacer click en *New*. También se puede hacer click en *Copy* o *Delete* para copiar o borrar una pista, respectivamente. Hay que tener en cuenta que una pista consta de dos direcciones, es por ello que las características se definen para ambas direcciones.

<sup>6</sup> International Civil Aviation Organization

<sup>7</sup> Código de 4 letras que es único para cada aeropuerto y sirve para identificarlo a nivel mundial.





- **Compass Angle (deg):**

Orientación en grados (°) de la pista. Se debe tomar como orientación el norte geográfico.

- **Total Length (m) y Width (m):**

El valor de la longitud total de la pista no se puede introducir manualmente, el programa lo calcula automáticamente a partir de los valores de *umbral de aproximación (Distance of approach threshold to RRP)* y *comienzo de despegue (Distance of start to roll to RRP)*.

El valor del ancho de la pista se debe introducir en metros.

- **Coordinates of runway reference point (RRP) y Distance of RRP to ARP (m):**

El punto de referencia de la pista suele ser el punto central de la pista, sus coordenadas geográficas (°, ', ") son meramente informativas. Para el cálculo se toma la distancia del RRP al ARP en metros, por ejemplo, si  $dx=0,00$  y  $dy=0,00$  se concluye que el punto de referencia del aeropuerto (ARP) y el punto de referencia de la pista (RRP) se encuentran en el mismo punto.

- **Distance of start of roll to RRP (m):**

Distancia en metros entre el comienzo de despegue y el punto de referencia de la pista (RRP).

- **Distance of approach threshold to RRP (m):**

Distancia en metros entre el punto (o umbral) de aterrizaje y el punto de referencia de la pista (RRP).

- **Density-1 region (m):**

Valor que solo afecta a las operaciones de tipo aterrizaje (Figura 12). Indica la dimensión de la región *Densidad-1* dentro de la pista y según la AzB debe ser igual a 1500 m. Para pistas de tamaño menor a 1500 m se debe ajustar el valor para que se adapte a la pista.

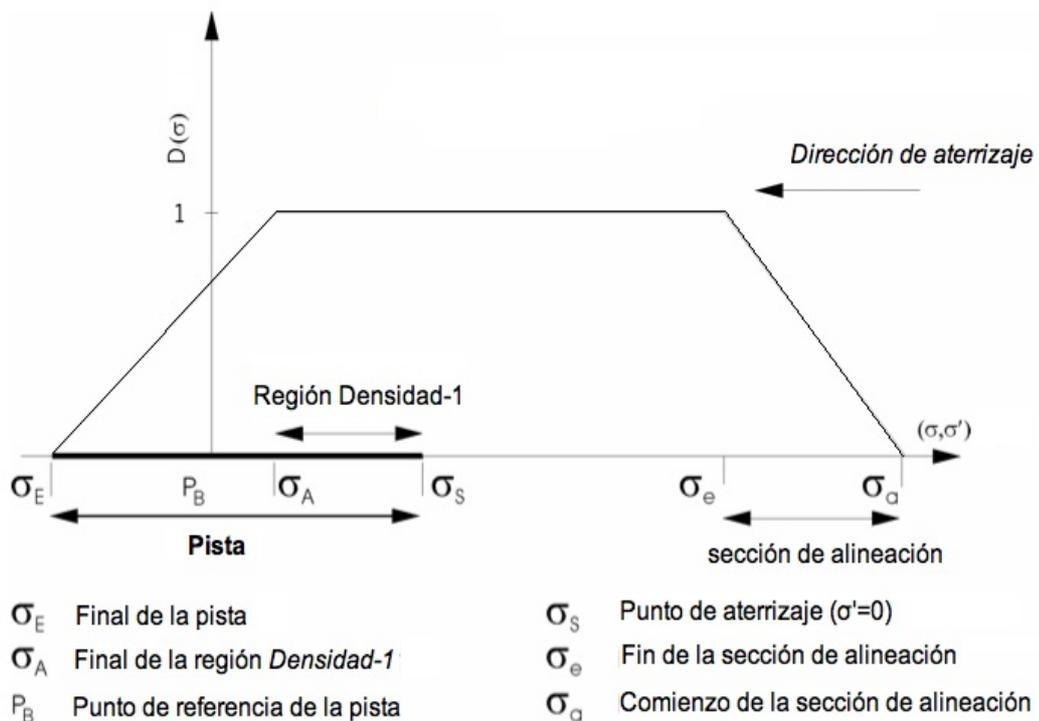


Figura 12: Región Densidad-1

La densidad  $D$  se utiliza para dar un peso a la trayectoria con respecto a la posición de la aeronave. En el caso de despegues la densidad siempre es  $D(\sigma)=1$ .

En el caso de aterrizajes la densidad es:

$$\begin{aligned} D_i(\sigma) &= 0 && ; \sigma = \sigma_E \\ D_i(\sigma) &= (\sigma - \sigma_E) / (\sigma_A - \sigma_E) && ; \sigma_E < \sigma \leq \sigma_A \\ D_i(\sigma) &= 1 && ; \sigma_A < \sigma \leq \sigma_e \\ D_i(\sigma) &= (\sigma - \sigma_a) / (\sigma_e - \sigma_a) && ; \sigma_e < \sigma \leq \sigma_a \\ D_i(\sigma) &= 0 && ; \sigma_a < \sigma. \end{aligned}$$

- **Offset of approach thresholds (m):**

Offset en metros que se suma al punto (o umbral) de aterrizaje.

Para el estándar AzB 2008 la cantidad de pistas del aeropuerto y sus características se definen en la pestaña *Runway/Traffic History* (Figura 13). En esencia se siguen manteniendo los mismos campos pero existen sutiles cambios en:

- **Compass Angle (deg):**

Se habilita la opción de introducir el ángulo de la pista en coordenadas geográficas WGS84. Los valores que se introduzcan en coordenadas geográficas son simplemente informativos.

- **Coordinates of runway reference point (RRP):**

Existe la posibilidad de introducir las coordenadas del punto de referencia de la pista (RRP) en coordenadas UTM, las cuales son las que toma el programa para realizar los cálculos.

- **Density-1 region (m) y Offset of approach thresholds (m):**

No existen dichos campos para el estándar AzB 2008

5.1 General properties		5.2 Airport Data		Runways / Traffic history	
		5.2.4 Runways		6. Traffic history	
New 90 / New 270		1. Name		New 90	/ New 270
		2. Planning status		projected	
		3. Compass Angle [deg]			
		geographic north (WGS84)		0,0000	/ 0,0000 (info)
		grid north UTM (ETRS89)		155,0000	/ 335,0000 (calc)
		4. Total length [m]		3000,00	Width [m] 30,00
		5. Coordinates of runway reference point (RRP)			
		Geographic coordinates (WGS84) [°']		N 0 0 0,0000	E 0 0 0,0000 (info)
		UTM coordinates [m]		(x) 610874,11	(y) 4736441,54 (calc)
		6. Distance of RRP to ARP [m]		(dx) 0,00	(dy) 0,00
		7. Distance of start of roll to RRP [m]		-1000,00	/ -1000,00
		8. Distance of approach threshold to RRP [m]		1500,00	/ 1500,00
		10. Meridian convergenc [°']		0 0 0,0000	

Figura 13: Pistas de un aeropuerto AzB 2008

### 3.3.3. Historial de tráfico (Solo para el caso del estándar AzB 2008)

En la pestaña *Traffic History* (Figura 14) se introduce el porcentaje de operaciones (despegue/aterrizaje) en cada dirección de la pista para un período de máximo 10 años, de manera que se pueda realizar una corrección del  $LpAeq$  según el estándar AzB 2008.

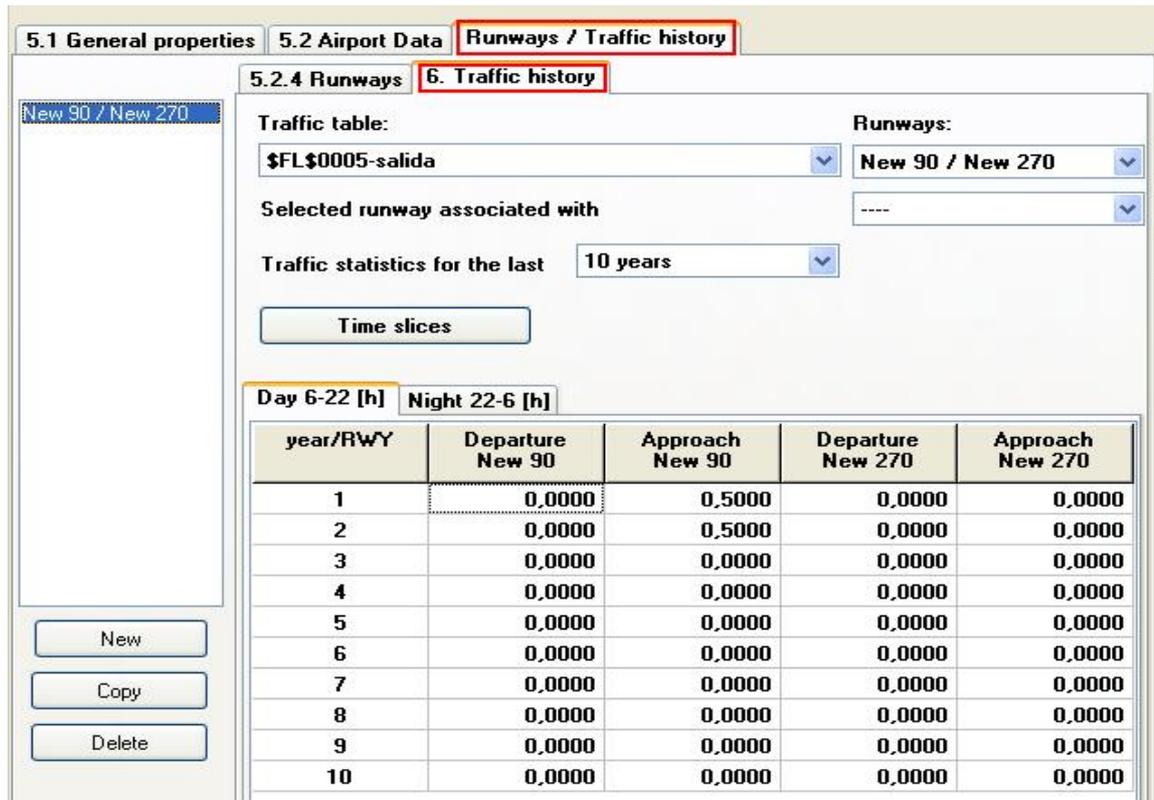


Figura 14: Historial de tráfico AzB 2008

Idealmente en una pista se pueden utilizar las dos direcciones tanto para despegue como para aterrizaje, dando un total de 4 operaciones en un pista. En la práctica el porcentaje de aterrizajes y despegues para cada dirección de la pista no es equitativa.

Como se ilustra a modo de ejemplo (Figura 15), en la pista 09/27, dirección este (90°) y dirección oeste (270°), se podrá aterrizar o despegar. Por lo tanto, se pueden calcular, los cuatro movimientos de operación a partir de *despegue 09*, *aterrizaje 09*, *despegue 27* y *aterrizaje 27*.

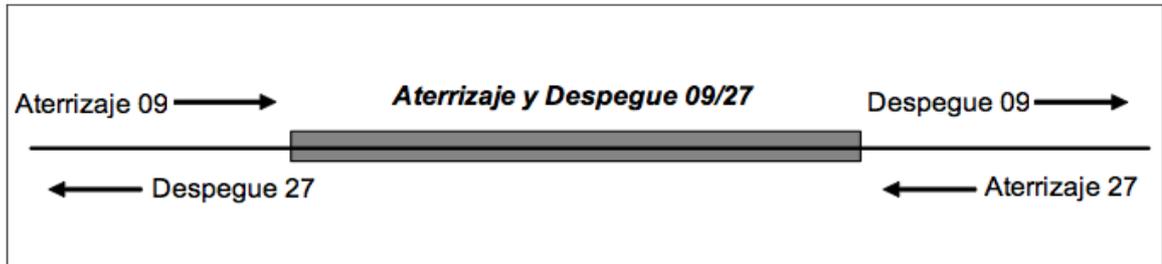


Figura 15: Aterrizaje y despegue 09/27

El porcentaje de operaciones de las aeronaves en las diferentes direcciones no sólo depende de las restricciones de vuelo adjudicadas al aeropuerto, sino sobre todo de la dirección del viento.

Se determina para un período de diez o menos años el porcentaje de operaciones de las aeronaves a las diferentes direcciones que operan en el día o la noche y se promedian según los 12 meses. Este porcentaje se denomina  $\alpha_{i,j,Tr}$  para la dirección de operación  $i$  y el año  $j$ :

$$\alpha_{i,j,Tr} = \frac{N_{i,j,Tr}}{N_{j,Tr}} \text{ con } \sum_{i=1}^{BB} \alpha_{i,j,Tr} = 1$$

Siendo:

- $\alpha_{i,j,Tr}$ : porcentaje de operación  $i$  en el año  $j$  en el tiempo de evaluación  $Tr$ .
- $N_{i,j,Tr}$ : Número de movimientos de aeronaves en el sentido  $i$  en el año  $j$  en el momento de evaluación  $Tr$ .
- $N_{j,Tr}$ : Número total de movimientos de aeronaves en el año  $j$  en el momento de evaluación  $Tr$ .
- $BB$ : numero de direcciones operativas.

Los valores se guardan en una tabla (Figura 16). Por ejemplo, el porcentaje de aterrizajes en la dirección A09 en el primer año viene dada por la fórmula:

$$\alpha_{2,1} = \frac{\text{n}^{\circ} \text{ de aterrizajes en la A09 en el año 1}}{\text{n}^{\circ} \text{ total de operaciones en el año 1}}$$

<b>Porcentaje de operación en las diferentes direcciones</b> (día: 6-22 hr, noche: 22-6 hr)							
<b>Año</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>...</b>	<b>BB</b>	<b>Suma</b>
	<i>D 09</i>	<i>A 09</i>	<i>D 27</i>	<i>A 27</i>	...	...	
<b>1</b>	$\alpha_{1,1}$	$\alpha_{2,1}$	$\alpha_{3,1}$	$\alpha_{4,1}$	...	$\alpha_{BB,1}$	<b>1</b>
<b>2</b>	$\alpha_{1,2}$	$\alpha_{2,2}$	$\alpha_{3,2}$	$\alpha_{4,2}$	...	$\alpha_{BB,2}$	<b>1</b>
<b>3</b>	$\alpha_{1,3}$	$\alpha_{2,3}$	$\alpha_{3,3}$	$\alpha_{4,3}$	...	$\alpha_{BB,3}$	<b>1</b>
<b>4</b>	$\alpha_{1,4}$	$\alpha_{2,4}$	$\alpha_{3,4}$	$\alpha_{4,4}$	...	$\alpha_{BB,4}$	<b>1</b>
<b>5</b>	$\alpha_{1,5}$	$\alpha_{2,5}$	$\alpha_{3,5}$	$\alpha_{4,5}$	...	$\alpha_{BB,5}$	<b>1</b>
<b>6</b>	$\alpha_{1,6}$	$\alpha_{2,6}$	$\alpha_{3,6}$	$\alpha_{4,6}$	...	$\alpha_{BB,6}$	<b>1</b>
<b>7</b>	$\alpha_{1,7}$	$\alpha_{2,7}$	$\alpha_{3,7}$	$\alpha_{4,7}$	...	$\alpha_{BB,7}$	<b>1</b>
<b>8</b>	$\alpha_{1,8}$	$\alpha_{2,8}$	$\alpha_{3,8}$	$\alpha_{4,8}$	...	$\alpha_{BB,8}$	<b>1</b>
<b>9</b>	$\alpha_{1,9}$	$\alpha_{2,9}$	$\alpha_{3,9}$	$\alpha_{4,9}$	...	$\alpha_{BB,9}$	<b>1</b>
<b>10</b>	$\alpha_{1,10}$	$\alpha_{2,10}$	$\alpha_{3,10}$	$\alpha_{4,10}$	...	$\alpha_{BB,10}$	<b>1</b>

Figura 16: Porcentaje de operación en las diferentes direcciones

El porcentaje de operaciones en el periodo de medida actual es igual a:

$$\gamma_{i,Tr} = \frac{N_{i,P,Tr}}{N_{P,Tr}} \text{ con } \sum_{i=1}^{BB} \gamma_{i,Tr} = 1$$

- $N_{P,Tr}$ : Número total de movimientos de aeronaves en el año actual durante el período de evaluación de  $Tr$ .
- $N_{i,P,Tr}$ : Número de movimientos de aeronaves en la operación  $i$  en el año actual durante el tiempo de evaluación  $Tr$ .

Por lo tanto, los niveles de día y de noche corregidos son los siguientes:

$$L_{pAeq,Día,j}(x, y, Hp) = 10. \lg \left[ \sum_{i=1}^{BB} \frac{\alpha_{i,j,Día}}{\gamma_{i,Día}} 10^{0.1.L_{pAeq,Día,i}(x,y, Hp)} \right]$$

$$L_{pAeq,Noche,j}(x, y, Hp) = 10. \lg \left[ \sum_{i=1}^{BB} \frac{\alpha_{i,j,Noche}}{\gamma_{i,Noche}} 10^{0.1.L_{pAeq,Noche,i}(x,y, Hp)} \right]$$

Hay que recordar que esta corrección solo se aplica en el caso de que el estándar elegido haya sido el AzB 2008. Para el resto de estándares la corrección del nivel de presión sonora debido al historial de tráfico no está disponible.



### **3.3.4. Trayectorias de los vuelos**

Las trayectorias definen el camino que seguirá el avión luego del despegue o antes de aterrizar. Las trayectorias de cada vuelo se representan en un plano de dos dimensiones, son proyecciones sobre el plano  $XY^8$  del movimiento descrito por un avión. Aquí no se define la altura del avión durante el vuelo, salvo en algunas excepciones.

Cada grupo de aeronaves (*Ver apartado de clases de aeronaves*) debe tener definidas como mínimo dos trayectorias: una para el despegue y otra para el aterrizaje. Es recomendable asignar un par de trayectorias (despegue/aterrizaje) diferentes para cada grupo de aeronaves, aun así, se admite que una misma trayectoria defina el camino seguido por múltiples grupos de aeronaves.

#### **3.3.4.1. Trayectorias para el caso de estándares diferentes del AzB 2008.**

Para definir las trayectorias de los vuelos hay que seleccionar el botón *Tracks* que está ubicado en la parte superior derecha de la ventana del módulo de aeronaves, una vez seleccionado se podrán construir las trayectorias de los vuelos (Figura 17).

<sup>8</sup> Teniendo en cuenta que el eje Z representa la altura.

Section No.	Straight on [m]	L/R	Heading change [deg]	Radius [m]	Corridor Begin [m]	Corridor End [m]
1	1000,00				0,00	0,00
2	1000,00				0,00	0,00
3	1000,00				0,00	0,00
4	1000,00				0,00	0,00

Figura 17: Trayectorias

Primero hay que seleccionar el tipo de trayectoria (Figura 18), cada tabla se adaptará al tipo de trayectoria elegida. Se debe crear un tipo de trayectoria para cada operación de cada clase de avión. Es decir, si existen 2 clases de aeronaves en el aeropuerto, se debe crear una trayectoria para el aterrizaje y despegue de cada clase de avión. En total se tendrían 4 trayectorias: 2 para aterrizaje y 2 para despegue. Los tipos de trayectoria son los siguientes:

- **Departure for propeller/jet aircrafts:**

Trayectoria que define el despegue tanto para aviones de motores de hélice (propeller) como de motores de reacción (jet).

- **Approach for propeller/jet aircrafts:**

Trayectoria que define el aterrizaje tanto para aviones de motores de hélice (propeller) como de motores de reacción (jet).



Figura 18: Tipos de trayectorias

- **Propeller/Jet aircrafts airfield traffic circuit:**

Trayectoria que define un circuito o patrón de tráfico cerca del aeropuerto tanto para aviones de motores de hélice (propeller) como de motores de reacción (jet). Los patrones de tráfico son trayectorias estándar que sigue una aeronave alrededor de un aeropuerto, se suelen emplear para el tráfico de aeronaves no comerciales. También es utilizada cuando una aeronave realiza la maniobra “Go around”, la cual se ejecuta cuando una aeronave frustra un aterrizaje y debe volver al aire.

- **Departure for helicopter:**

Trayectoria que define el despegue de un helicóptero.

- **Approach for helicopter:**

Trayectoria que define el aterrizaje de un helicóptero.

- **Helicopter airfield traffic circuit:**

Trayectoria que define un circuito o patrón de tráfico cerca del aeropuerto para aeronaves de tipo helicópteros.

- **DES-MIL departure:**

Trayectoria que define el despegue para aviones de tipo militar.

- **DES-MIL Approach:**

Trayectoria que define el aterrizaje para aviones de tipo militar.

- **DES-MIL airfield traffic circuit:**

Trayectoria que define un circuito o patrón de tráfico cerca del aeropuerto para aviones de tipo militar.

Luego de haber seleccionado el tipo de trayectoria se le asigna un nombre en el campo *Track name*. Se puede asignar cualquier nombre pero se recomienda que se escoja uno que identifique claramente al trayecto, ya que este nombre saldrá en el menú de datos de tráfico (*Traffic Data*). Por ejemplo, si hemos construido un trayecto de despegue a través de la pista 34 para la clase de aeronave S-5.1 lo podremos llamar *Salida34\_S5.1*.

En general la trayectoria se construye sección por sección (Figura 19). La primera sección empieza con el punto de referencia de la pista (RRP).

2.2.1.3. Description of Departure flight track

Section No.	Straight on [m]	L/R	Heading change [deg]	Radius [m]	Corridor Begin [m]	-width End [m]
1	10000,00				0,00	0,00

Figura 19: Construcción de la trayectoria



Toda la trayectoria se define en *Description of (Departure/Approach) flight track*:

- **Section No:**

En este campo se indica el número de la sección del trayecto.

- **Straight on (m):**

Aquí se definen las secciones rectas del trayecto.

- **L/R, Heading change (m) y Radius (m):**

Las secciones no rectas del trayecto, es decir, aquellas secciones que reflejen giros o cambios de dirección del avión se definen en las columnas *L/R*, *Heading change* y *Radius*. Es usual que a estas secciones se les llame arcos ya que en efecto son arcos de una circunferencia. Hay que tener en cuenta que el programa no considera zonas curvas, es por ello que las secciones que son arcos los considera como una unión finita de rectas.

En la columna *L/R* solo se pueden introducir dos variables: las letras L o R, indicando la dirección del giro. En la columna *Heading change* se introduce el valor en grados del giro y el radio de la circunferencia en metros se introduce en la columna *Radius*.

- **Corridor Width Begin/End (m):**

En estas columnas se define el ancho del corredor en la sección asignada. Como las aeronaves no siempre siguen un camino perfecto se le asigna a cada trayecto un corredor específico. Según la AzB solo se deben definir para la operación de tipo despegue.

- **Height at end (m):**

Esta columna solo existe en el caso de aviones militares (DES-MIL) y define la altura en metros del punto final de cada sección.

Para agregar valores a los distintos campos simplemente se hace click sobre un campo específico y se habilita la introducción de números o las letras L o R (*L/R*). Si se desea agregar una sección hay que ir hasta la última columna (*-width End (m)*) y hacer click en *intro*. Se puede visualizar el trayecto construido haciendo click en el botón *Graphics* que está en la parte derecha de la ventana.

Por ejemplo, se ha construido una trayectoria de despegue (Figura 20) y se ha visualizado con la opción *Graphics* (Figura 21).

2.2.1.3. Description of Departure flight track

Section No.	Straight on [m]	L/R	Heading change [deg]	Radius [m]	Corridor Begin [m]	-width End [m]
1	1000,00				0,00	0,00
2	1000,00				0,00	0,00
3		L	90,00	1234,56	0,00	0,00
4	1000,00				0,00	250,00
5	1000,00				250,00	500,00
6	1000,00				500,00	1000,00
7	1000,00				1000,00	1500,00

Figura 20: Trayectoria de despegue

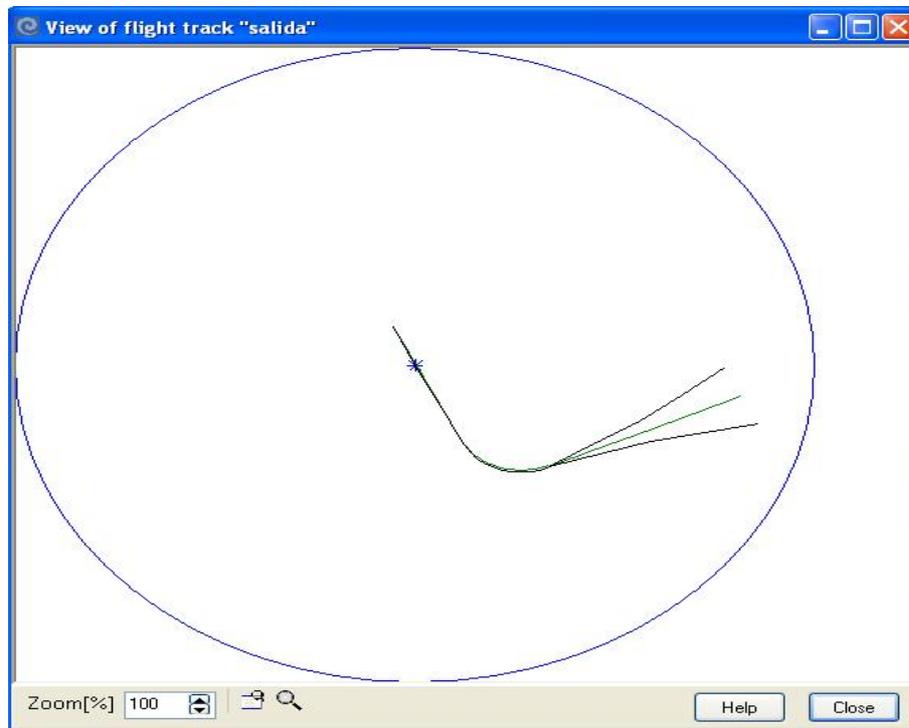


Figura 21: Visualización de la trayectoria de despegue

Cada trayecto tiene sus propiedades particulares, veamos algunas de ellas para los casos más importantes, despegue y aterrizaje:

- **Departure for propeller/jet aircrafts:**

- ▶ **Runway (Departure):**

Dirección del despegue. Se elige asignando la pista y la dirección de la misma.

- ▶ **Elevation above airport (m):**

La elevación sobre el aeropuerto en el caso de despegue solo afecta a las aeronaves de aviación general (clases P1.x). Este valor equivale al  $h_0$  que se encuentra en el perfil de vuelo (*Classes*) de las clases de aeronaves e indica la

altitud a la cual empieza el vuelo horizontal.

- **Approach for propeller/jet aircrafts:**

- ▶ **Runway (Approach):**

Dirección del aterrizaje. Se elige asignando la pista y la dirección de la misma.

- ▶ **Angle of approach (DEG):**

Ángulo de aproximación para el aterrizaje en grados. Suele ser un número entre 2 y 4 grados, depende de las cartas de aproximación correspondientes al aeródromo. Este valor equivale a la  $w$  que se encuentra en las tablas de las clases de aeronaves (*Classes*).

- ▶ **Get in lane section:**

Esta es la región donde la aeronave se alinea con el punto de referencia de la pista (RRP). Es necesario asignar el valor de comienzo (*Begin*) y de final (*End*) de la región.

- ▶ **Elevation above airport (m):**

La elevación sobre el aeropuerto es requerido para todas las clases de aeronaves que tengan un perfil de vuelo en configuración de aterrizaje. Este valor equivale al  $h_0$  que se encuentra en el perfil de vuelo (*Classes*) de las clases de aeronaves. Con este valor se indica la altitud a la cual la aeronave desciende con un pendiente constante y con el ángulo de aproximación anteriormente mencionado ( $w$ ).

### 3.3.4.2. Trayectorias para el caso del estándar AzB 2008

Al igual que en el caso anterior las trayectorias de vuelo se representan en un plano de dos dimensiones. Una vez que se seleccione el botón *Tracks* aparecerá la ventana principal para construir las trayectorias (Figura 22).

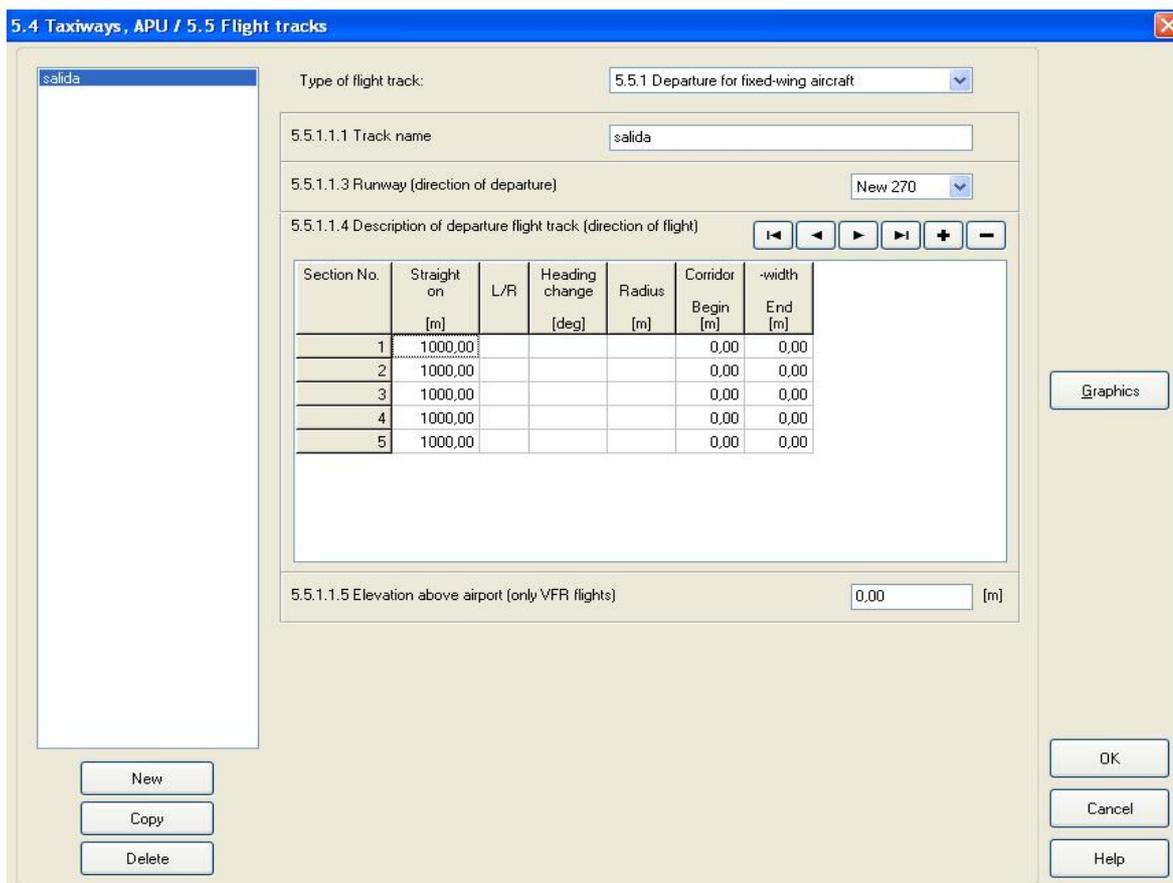


Figura 22: Trayectorias AzB 2008

El estándar AzB 2008 tiene la opción de definir más tipos de trayectorias en comparación a otros estándares (Figura 23).



Figura 23: Tipos de trayectorias AzB 2008

Los tipos de trayectorias son:

- **Taxiway from parking position to start of roll:**

Este tipo de trayectoria define el movimiento del avión en tierra desde su posición de aparcamiento hasta el comienzo de despegue (Figura 24).

- **Taxiway from exit to parking position:**

Este tipo de trayectoria define el movimiento del avión en tierra desde su posición final de aterrizaje hasta la posición de aparcamiento (Figura 24).

- **APU operation before departure y APU operation after approach:**

Se definen las posiciones de las APU's antes del despegue y después del aterrizaje. Las APU's son las unidades auxiliares de potencia que proporcionan energía a las aeronaves antes y después del despegue (Figura 24). Se sitúan cerca de las zonas de aparcamiento de las aeronaves.

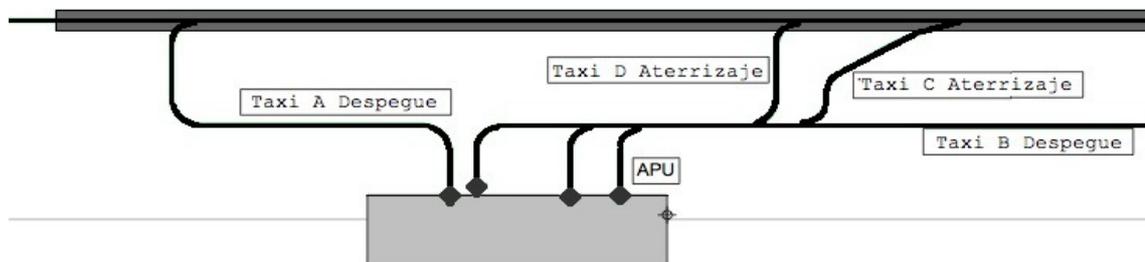


Figura 24: Taxi y APU

- **Departure for fixed-wing aircraft:**

Trayectoria que define el despegue tanto para aviones de motores de hélice como de motores de reacción.

- **Approach for fixed-wing aircraft:**

Trayectoria que define el aterrizaje tanto para aviones de motores de hélice como de motores de reacción.

- **Closed pattern for fixed-wing aircraft:**

Trayectoria que define un circuito o patrón de tráfico cerca del aeropuerto tanto para aviones de motores de hélice como de motores de reacción.

- **Departure helicopter:**

Trayectoria que define el despegue de un helicóptero.

- **Approach helicopter:**

Trayectoria que define el aterrizaje de un helicóptero.

- **Closed pattern helicopter:**

Trayectoria que define un circuito o patrón de tráfico cerca del aeropuerto para helicópteros.

- **Departure with elevation profile:**

Trayectoria que define el despegue tanto para aviones de motores de hélice como de motores de reacción y que además tiene un perfil de elevación. Este perfil de elevación tiene más importancia que el proporcionado por las clases de aeronaves. Es por ello que este perfil se tomará en cuenta para los cálculos y

no el que se encuentra definido en las clases de aeronaves.

- ***Approach with elevation profile:***

Trayectoria que define el aterrizaje tanto para aviones de motores de hélice como de motores de reacción y que además tiene un perfil de elevación. Como se ha comentado anteriormente, este perfil se tomará en cuenta para los cálculos.

- ***Closed pattern with elevation profile:***

Trayectoria que define un circuito o patrón de tráfico cerca del aeropuerto tanto para aviones de motores de hélice como de motores de reacción y que además tiene un perfil de elevación.

- ***Helicopter departure with elevation profile:***

Trayectoria que define el despegue de un helicóptero y que además tiene un perfil de elevación.

- ***Helicopter approach with elevation profile:***

Trayectoria que define el aterrizaje de un helicóptero y que además tiene un perfil de elevación.

- ***Closed pattern helicopter with elevation profile:***

Trayectoria que define un circuito o patrón de tráfico cerca del aeropuerto para helicópteros y que además tiene un perfil de elevación.

La construcción de las trayectorias es similar a lo explicado anteriormente. Para agregar/eliminar secciones del trayecto se facilita el uso de un panel de botones para dicho uso (Figura 25).



Figura 25: Panel de botones

Veamos a continuación algunas de las propiedades más importantes para los casos de despegue y aterrizaje:

- **Departure for fixed-wing aircraft:**

- ▶ **Runway (Direction of departure):**

Dirección del despegue la cual se elige asignando la pista y la dirección de la misma.

- ▶ **Elevation above airport (only VFR flights):**

La elevación sobre el aeropuerto solo es relevante para clases de aeronaves de tipo VFR<sup>9</sup>, es decir para aquellos aviones que maniobren de manera visual sin utilizar la instrumentación de navegación (clases P1.x). Este valor equivale al h0 que se encuentra en el perfil de vuelo (*Classes*) de las clases de aeronaves. Indica la altitud a la cual empieza el vuelo horizontal.

- **Approach for fixed wing-aircraft:**

- ▶ **Runway (direction of approach):**

Dirección del aterrizaje, se elige asignando la pista y la dirección de la misma.

- ▶ **Angle of approach (°):**

Ángulo de aproximación para el aterrizaje en grados. Suele ser un número entre 2 y 4 grados, depende de lo indicado en las cartas de aproximación del aeródromo correspondiente. Este valor equivale a la w que se encuentra en las tablas de las clases de aeronaves (*Classes*) (Figura 26).

<sup>9</sup> VFR: Visual Flight Rule. Son reglas de vuelo visuales para la aviación general.

► **Intermediate altitude above ARP:**

Altura intermedia sobre el punto de referencia del aeropuerto (ARP) solo definida para vuelos IFR<sup>10</sup>, es decir aquellos aviones que maniobren utilizando siempre la instrumentación de navegación. Este valor equivale al  $h_0$  que se encuentra en los perfiles de vuelo de las clases de aeronaves (Figura 26). indica la altitud a la cual la aeronave empieza a descender con una pendiente constante y un ángulo fijo ( $w$ ).

► **Length of Intermediate altitude segment:**

Longitud del segmento que está a la altura intermedia sobre el punto de referencia de aeropuerto (ARP), solo definida para vuelos IFR. Este valor equivale al  $S_z$  que se encuentra en los perfiles de vuelo de las clases de aeronaves (Figura 26).

► **Elevation above airport (only VFR flights):**

La elevación sobre el aeropuerto solo es relevante para clases de aeronaves de tipo VFR. Este valor equivale al  $h_0$  que se encuentra en el perfil de vuelo (*Classes*) de las clases de aeronaves.

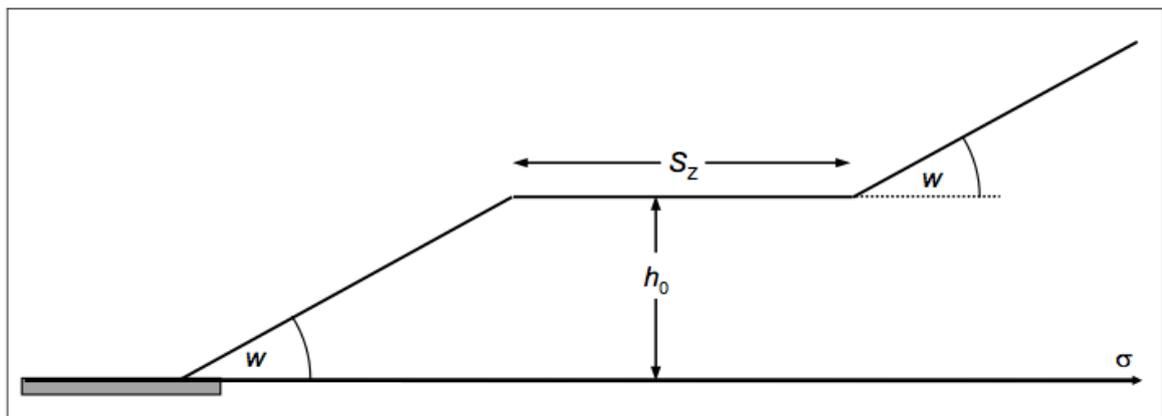


Figura 26: Vuelos IFR. AzB 2008

<sup>10</sup> IFR: Instrument Flight Rule

### 3.3.5. Clases de aeronaves

Las fuentes de emisión, en este caso las aeronaves, se agrupan en alrededor de 20 grupos de aeronaves. Cada grupo se divide en dos clases: despegue y aterrizaje.

Las propiedades físicas y acústicas de un grupo van a caracterizar varios tipos de aeronaves, los criterios de agrupación se definen en las siguientes características similares que se encuentran en ciertos tipos de aeronaves:

► **MTOM<sup>11</sup>:**

Peso máximo de despegue. Es el peso máximo con el cual la aeronave tiene permiso para despegar desde un aeropuerto.

► **Capacidad de pasajeros:**

La capacidad de pasajeros está determinada por el número de asientos disponibles para pasajeros de carga sin contar el sobrecargo (pilotos y tripulantes).

► **Motores:**

Se distinguen entre motores de hélice y motores a reacción (jet), luego se agrupan los motores hélice o jet con características similares.

► **Emisión acústica:**

Dos aeronaves tienen equivalencia acústica en el caso que generen isófonas similares alrededor de la trayectoria de la aeronave.

<sup>11</sup> Maximum Take-Off Mass. También llamado MTOW: Maximum Take-Off Weight

### 3.3.5.1. Grupos de aeronaves en SoundPlan

Los grupos de aeronaves están definidos en las tablas de datos proporcionados por la AzB. En dichas tablas se define la emisión acústica en bandas de octava, el factor de directividad y el perfil de vuelo. En el caso del estándar AzB del año 1975 las tablas están definidas en la publicación AzB del año 1999 y en el caso del estándar AzB del año 2008 las tablas se encuentran definidas dentro del mismo estándar. Los datos presentados en las tablas de la AzB del año 2008 son ligeramente diferentes a los de la AzB del año 1999, conteniendo algunos cambios tanto en el factor de directividad como en el perfil de vuelo, no así en la emisión acústica que se ha mantenido igual.

Los grupos de aeronaves tienen el formato  $P/Sx.x$  donde la  $P$  indica que la aeronave tiene motores de hélice y la  $S$  que la aeronave tiene motores a reacción (tipo jet), los valores de  $x$  son números que sirven para clasificar los grupos. A continuación se muestra una pequeña descripción de los grupos que se están dentro de las librerías de SoundPlan:

- **P1.0:**

Aeronaves de tipo ultraligero o ultra liviano. Son aeronaves de no más de dos asientos con un MTOM menor a 500 kg.

- **P1.1:**

Aeronaves *Power-glider* o *Motor-glider* con un MTOM un poco más de 500 kg. Un ejemplo de aeronave para este grupo es: Scheibe SF 25 Falke.

- **P1.2:**

Aeronave con motor de hélice con un MTOM cerca de 1.000 kg o una



aeronave de tipo *Power-glider* actuando como remolque.

- **P1.3:**

Aeronave con motor de hélice con un MTOM mayor a 1.000 kg.

- **P1.4:**

Aeronave con motor de hélice con un MTOM entre 2.000 y 5.700 kg.

- **P2.1:**

Aeronave con motor de hélice con un MTOM mayor a 5700 kg. Los ejemplos de aeronaves para este grupo son: DASH7, DASH8 y ATR42.

- **P2.2:**

Aeronave con motor de hélice con un MTOM mayor a 5.700 kg que no están definidos en el grupo *P2.1*.

- **S1.0:**

Aeronave con motor a propulsión con un MTOM cerca de 34.000 kg.

- **S1.1:**

Aeronave con motor a propulsión con un MTOM entre 34.000 y 100.000 kg. En este grupo no se tienen en cuenta las siguientes aeronaves: Boeing 737 y Boeing 727.

- **S1.2:**

Aeronave tipo Boeing 737.



- **S1.3:**

Aeronave tipo Boeing 727.

- **S3.1:**

Aeronave con dos o tres motores a propulsión con un MTOM mayor a 100000 kg.

- **S3.2:**

Aeronave con cuatro motores a propulsión con un MTOM mayor a 100.000 kg.

- **S5.1:**

Aeronave con motor a propulsión con un MTOM cerca de 50.000 kg. Los ejemplos de aeronaves para este grupo son: Canadair RJ (CRJ), CRJ700, BAE 146, BA46-2, LEAR35 y FOKKER 10.

- **S5.2:**

Aeronave con motor a propulsión con un MTOM entre 50.000 y 120.000 kg con un *by-pass ratio* mayor de 3. Los ejemplos de aeronaves para este grupo son: F 100 y Airbus 318-321.

- **S5.3:**

Aeronave con motor a propulsión con un MTOM entre 50.000 y 120.000 kg con un *by-pass ratio* menor de 3. Un ejemplo de aeronave para este grupo es: MD 80.

- **S6.1:**

Aeronave con dos motores a propulsión con un MTOM mayor de 120.000 kg.

- **S6.2:**

Aeronave con tres o cuatro motores a propulsión con un MTOM mayor de 120.000 kg.

- **S6.3:**

Aeronave tipo Airbus 340.

- **S7.0:**

Aeronave con tres o cuatro motores a propulsión con un MTOM mayor de 300.000 kg. Un ejemplo de aeronave para este grupo es: Boeing 747.

### **3.3.5.2. Librería de las clases de aeronaves**

Las aeronaves que se quieran utilizar para los cálculos se deben agregar desde la librería *Aircraft Classes Library*, para acceder a la misma se debe hacer click en el botón *Classes >>* que está ubicado en la parte superior derecha de la ventana del módulo de aeronaves.

Para agregar aeronaves a la librería del proyecto (*Project* → *Aircraft Classes*) hay que ir hasta la librería de sistema (*Libraries* → *System* → *Aircraft Classes*) seleccionar una clase de aeronave y hacer click en *Accept* (Figura 27).

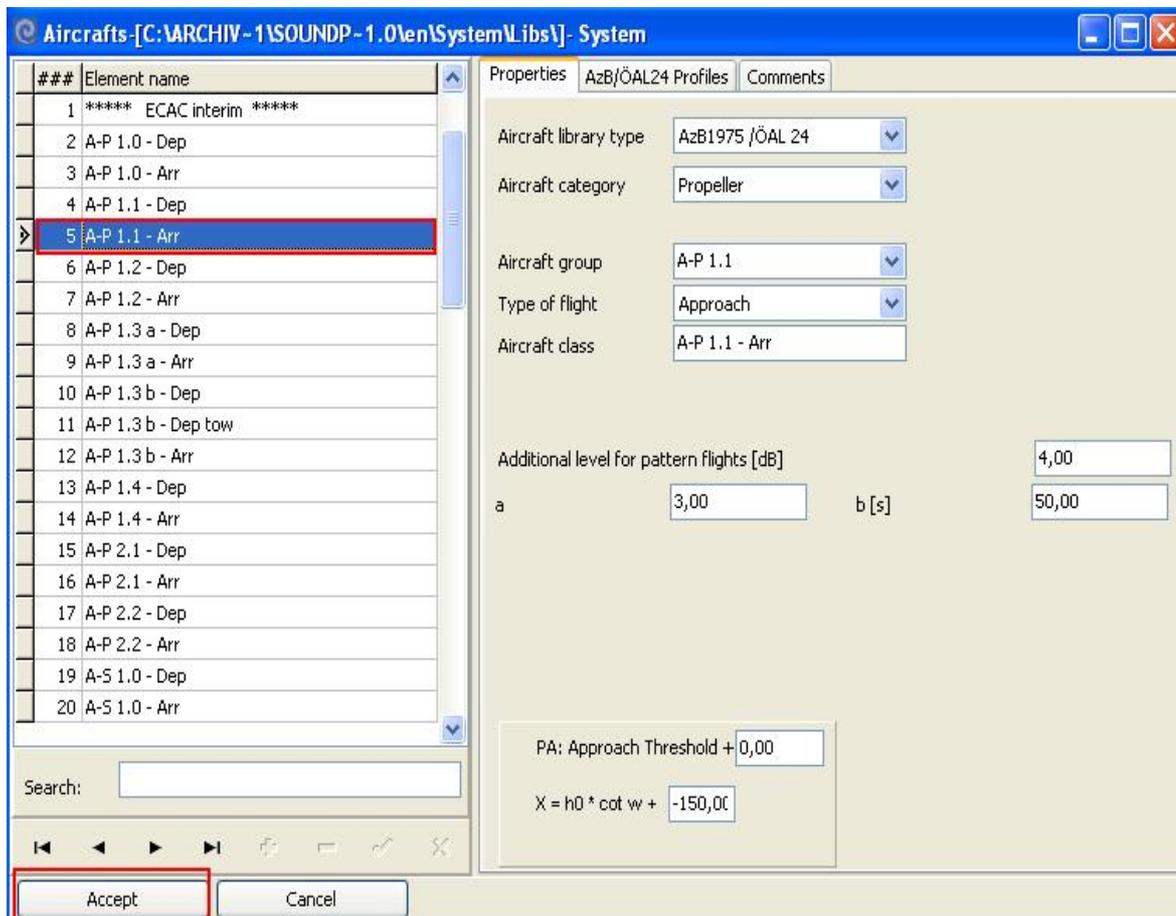


Figura 27: Clases de aeronaves

La librería contiene tres pestañas principales: *Properties*, *Profiles* y *Comments*.

### 3.3.5.2.1. Pestaña *Properties*

Las propiedades principales de las clases de aeronave así como algunos parámetros de cálculo se definen en la pestaña *Properties*.

- **Aircraft library type:**

Se pueden elegir entre 4 tipos de librerías:



- AzB1975/ÖAL 24
- DIN 45684
- AzB/AzD 2008
- SANC

La elección de un tipo de librería determinará las clases de aeronaves y sus parámetros de cálculo. Además, es muy importante elegir la librería que corresponda con el estándar previamente asignado, ya que de lo contrario las clases de aeronaves no saldrán en las tablas de datos de tráfico (*Traffic Data*).

A continuación se presenta la relación entre los estándares y las librerías correspondientes:

- AzB → AzB1975/ÖAL 24
- AzB 2008-07 → AzB/AzD 2008
- DIN 45643 → AzB1975/ÖAL 24
- DIN 45684 → DIN 45684
- Swiss Aircraft Noise Calculation → SANC
- ÖAL 24 → AzB1975/ÖAL 24
- ECAC Doc. 29 → AzB1975/ÖAL 24

- **Aircraft Category:**

Se pueden elegir entre 4 tipos de categorías:

- Jet
- Propeller
- Helicopter
- Military planes

Cuando se agrega una clase de aeronave de la librería de sistema (*System* → *Aircraft Classes*) la categoría es un parámetro que no hace falta modificar, ya

está asignado correctamente, aunque se debe verificar que corresponde correctamente a la clase de aeronave seleccionada.

▪ **Aircraft Group:**

Campo que define el grupo al cual pertenece la aeronave. Es un parámetro que no hace falta modificar, ya está asignado correctamente.

▪ **Type of flight:**

Aquí se define que tipo de operación va a realizar la aeronave, si va a realizar un despegue o un aterrizaje. Además, se tienen en cuenta si es un APU (unidad auxiliar de potencia). Se pueden elegir entre 8 tipo de operaciones:

- Approach
- Departure
- Take-Off, Mass a
- Take-Off, Mass b
- Helicopter Dep./Apr.
- Helicopter Approach
- Helicopter Departure
- Aux. Power Unit

Este campo suele estar asignado correctamente al agregar una clase de aeronave de la librería de sistema (*System* → *Aircraft Classes*) pero cuando se cambia el tipo de librería (*Aircraft library type*) el campo se modifica. Es por esta razón que hay que tener precaución y verificar siempre que el tipo de operación corresponde correctamente con la clase de aeronave asignada.

▪ **Aircraft class:**

Nombre de la clase de aeronave se establece según el estándar AzB. Si el

usuario lo prefiere se puede modificar el nombre libremente, pero no es recomendable.

- **Parámetros de cálculo:**

Los parámetros de cálculo dependen del tipo de librería, de manera que se explicarán los parámetros correspondientes a los diferentes tipos de librería.

- **Librería AzB1975/ÖAL 24:**

En el caso de una operación de despegue los parámetros se pueden observar justo debajo del campo *Aircraft Class* (Figura 28).

Properties AzB/ÖAL24 Profiles Comments

Aircraft library type: AzB1975 /ÖAL 24

Aircraft category: Jet

Aircraft group: A-S 5.1

Type of flight: Departure

Aircraft class: A-S 5.1 - Dep

a: 5,00      b [s]: 12,00

PA: Start of roll + 0,00

$X = \frac{h_0}{0,000} + 0,00$

Figura 28: Despegue. Parámetros de cálculo AzB 1975

- **Constantes a y b(s):**

Las constantes  $a$  y  $b(s)$  se utilizan para calcular la duración del ruido  $t$ , definido en el estándar AzB del año 1975, mediante la fórmula:

$$t(s, \sigma) = \frac{a \cdot s}{V(\sigma') + \frac{s}{b}}$$

Donde,

- S: distancia entre el receptor y la aeronave.
- V: velocidad de la aeronave. Su valor se define en el perfil de vuelo.

Dichas constantes están definidas para cada clase de avión en las tablas proporcionadas por la AzB. Cuando se utiliza el estándar ECAC Doc 29, el valor de  $t$  está multiplicado por un factor de 0.5 debido a que el *Time factor for 10 dB downtime* está asignado a 0.5.

- **PA:Start of roll:**

El campo “PA:Start of roll +nº en metros” indica el offset que se suma al punto de comienzo de despegue.

- **X (para despegues):**

El valor de  $X$  se calcula con la fórmula indicada (Figura 27), teniendo en cuenta que el valor de  $h0$  equivale al valor de *Elevation above airport* que se encuentra en la sección de trayectorias (*Tracks*). Este valor se utiliza para algunas clases de aviones en el perfil de vuelo descrito en la pestaña *Profiles*.

- **Additional level for pattern flights (dB):**

En el caso de una operación de aterrizaje los parámetros son similares a los de un despegue, teniéndose además en cuenta el nivel adicional Z para patrones de tráfico (*Additional level for pattern flights (dB)*) (Figura 29).

Properties		AzB/ÖAL24 Profiles	Comments
Aircraft library type	AzB1975 /ÖAL 24		
Aircraft category	Jet		
Aircraft group	A-S 5.1		
Type of flight	Approach		
Aircraft class	A-S 5.1 - Arr		
Additional level for pattern flights [dB]		3,00	
a	6,00	b [s]	12,00
PA: Approach Threshold + 0,00			
X = h0 * cot w + -300,00			

Figura 29: Aterrizaje. Parámetros de cálculo AzB 1975

- **PA: Approach threshold:**

El campo “PA: Approach threshold+nº en metros” indica el offset que se suma al umbral o punto de aterrizaje.

- **X (para aterrizajes):**

El valor de X se calcula con la fórmula indicada, teniendo en cuenta que el valor de  $h_0$  equivale al valor de *Elevation above airport* que se encuentra en la sección de trayectorias (*Tracks*) y  $w$  representa el ángulo de aproximación (*Angle of approach*) descrito en las trayectorias (*Tracks*).



- **Librería DIN 45684 y SANC:**

- **hQ (m):**

En la operación de tipo despegue hay que introducir el valor de *hQ (m)* que es igual a la altura de los motores del avión con respecto a la pista, estando el avión en la pista.

- **Additional level for pattern flights (dB):**

En la situación de aterrizaje hay que introducir el valor de el nivel adicional *Z* para patrones de tráfico (*Additional level for pattern flights (dB)*).

- **Librería AzB 2008:**

Los parámetros de cálculo se pueden observar justo debajo del campo *Assigned APU* (Figura 30). En este campo se puede asignar a la clase de aeronave elegida una unidad auxiliar de potencia (APU).

The screenshot shows the 'Properties' tab of the 'AzB 2008 Profiles' software. The interface includes several dropdown menus and input fields for aircraft configuration. A red box highlights the calculation parameters section, which includes:

- Qsigma [dB]: 3,00
- hQ [m]: 2,50
- PA: Start of roll + 0,00
- A formula for X:  $X = \frac{h_0}{0,000} + 0,00$

Figura 30: Despegue. Parámetros de cálculo AzB 2008

- **Qsigma (dB):**

Desviación estándar definida para el cálculo del *nivel de presión sonora máximo*  $L_{p,max}$  y el valor de  $NAT^{12}$ . Si se estima el mismo  $L_{p,max}$  para todos los movimientos de una misma clase de avión sobre el mismo trayecto se pueden obtener resultados poco realistas para el valor de  $L_{pAs,max}$  y  $NAT$ . En realidad no hay cambios bruscos, es por ello que se calcula el  $L_{pAs,max}$  como un promedio estimado de los niveles de cada evento que se dispersan sobre un valor central  $L_{pAs,max}$  medio. Esta dispersión se describe por una función de distribución gaussiana con una desviación estándar Qsigma (Figura 31):

<sup>12</sup> Number Above Threshold (Valor por encima de un umbral)

$$w(L_{pAS,max}, \bar{L}_{pAS,max}, Q_{\sigma}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \cdot Q_{\sigma}} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{L_{pAS,max} - \bar{L}_{pAS,max}}{Q_{\sigma}} \right)^2 \right]$$

Donde,

- $\bar{L}_{pAS,max}$ : Nivel de presión sonora máxima medio con ponderación A.
- $L_{pAS,max}$ : Nivel de presión sonora máxima con ponderación A.
- $Q_{\sigma}$ : Desviación estándar (Qsigma).

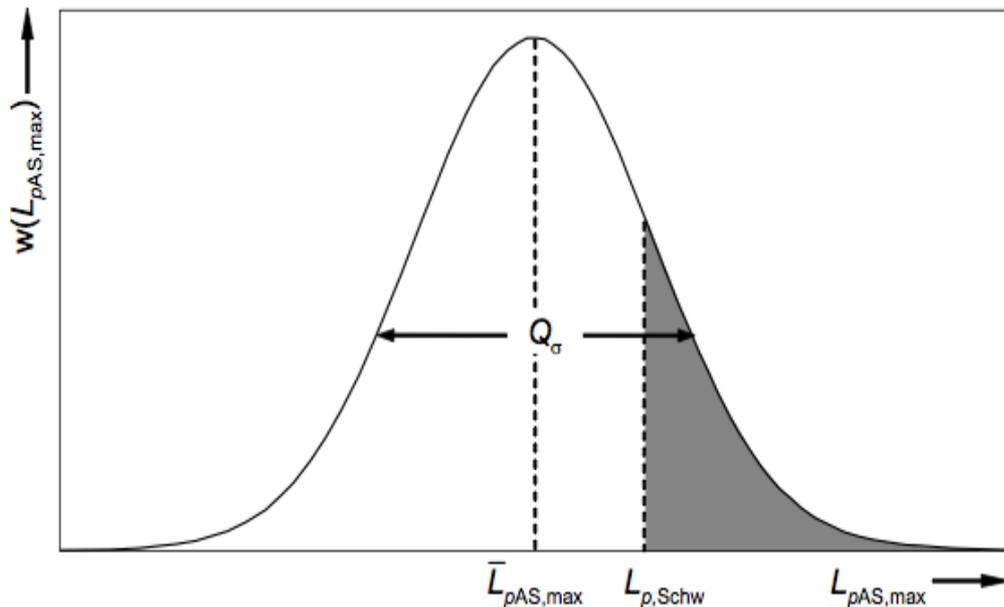


Figura 31: Distribución Gaussiana del  $L_{pAs,max}$

El valor de *NAT* describe el número de eventos cuyos niveles de presión sonora máximos superan un umbral específico. Teniendo en cuenta la dispersión del nivel de presión sonora máximo  $L_{pAs,max}$  el valor de *NAT* se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{NAT}(L_{p,\text{Schw}}) = \sum_{l=1}^{N_{\text{Fw}}} \sum_{k=1}^{N_{\text{Lk}}} n_{\text{Tr},k,l} \cdot \int_{L_{p,\text{Schw}}}^{\infty} w(L_{p\text{AS,max}}, L_{p\text{AS,max},k,l}, Q_{\sigma,k}) dL_{p\text{AS,max}}$$

Donde,

- $L_{p,\text{schw}}$ : umbral de nivel de presión sonora.
- $k=1, \dots, N_{\text{Lk}}$ : índice que describe el número de clases de aeronaves.
- $L=1, \dots, N_{\text{Fw}}$ : índice que describe el número de trayectos.
- $N_{\text{Tr},k,l}$ : número de movimientos de una aeronave de clase  $k$  sobre una trayectoria  $l$  en un período de tiempo  $\text{Tr}$ .
- $W$ : función de distribución gaussiana que describe la dispersión del nivel de presión sonora máximo  $L_{p\text{AS,max}}$ .

-  **$h_Q$  (m):**

El valor de  $h_Q$  (m) es igual a la altura de los motores del avión con respecto a la pista, estando el avión en la pista. Valor que sirve para calcular la altura exacta  $H_Q$  de los motores con respecto al punto de referencia de la pista o del receptor.

$$H_Q = H_B + H(\sigma') + h_Q$$

Donde,

- $H_B$ : altura del punto de referencia del aeropuerto (ARP).
- $H(\sigma')$ : altura de la aeronave con respecto al trayecto  $\sigma'$ . Este valor está definido en el perfil de vuelo.

- **X (para despegues):**

Este valor se utiliza para algunas clases de aviones en el perfil de vuelo descrito en la pestaña *Profiles*. El valor de  $h_0$  equivale al valor de *Intermediate altitude above ARP* que se encuentra en la sección de trayectorias (*Tracks*).

- **PA:Start of roll:**

El campo "PA:Start of roll +nº en metros" indica el offset que se suma al punto de comienzo de despegue.

- **Additional level for pattern flights (dB):**

Nivel adicional Z para patrones de tráfico (*Additional level for pattern flights (dB)*) (Figura 32 ). Solo definido para la operación de aterrizaje.

Field	Value
Aircraft library type	AzB/AzD 2008
Aircraft category	Jet
Aircraft group	A-5 5.1
Type of flight	Approach
Aircraft class	A-5 5.1 - Arr
Assigned APU	No APU assigned
Additional level for pattern flights [dB]	3,00
Qsigma [dB]	3,00
Sv [m]	900,00
hQ [m]	2,50
PA: Approach Threshold +	0,00
X = h0 * cot w +	-300,00

Figura 32: Aterrizaje. Parámetros de cálculo AzB 2008

- **PA:Approach threshold:**

El campo “PA:Approach threshold+nº en metros” indica el offset que se suma al umbral o punto de aterrizaje.

- **Sv (m):**

Distancia donde la aeronave reduce la velocidad hasta llegar al punto de frenado. Se denomina tramo o trayecto de retardo (Figura 33). Es un parámetro que solo afecta a la operación de aterrizaje y se utiliza en el perfil de vuelo.

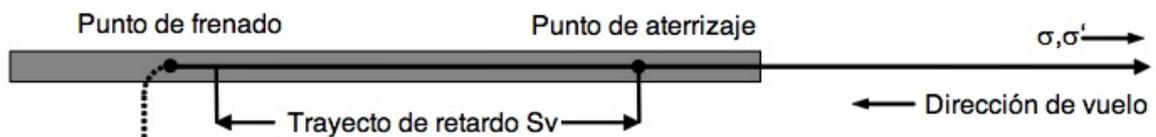


Figura 33: Trayecto de retardo Sv

- **X (para aterrizajes):**

Este valor se utiliza para algunas clases de aviones en el perfil de vuelo descrito en la pestaña *Profiles*. El valor de  $h_0$  equivale al valor de *Intermediate altitude above ARP* que se encuentra en la sección de trayectorias (*Tracks*) y  $w$  representa el ángulo de aproximación (*Angle of approach*) descrito en las trayectorias (*Tracks*).

### 3.3.5.2.2. Pestaña Profiles

En la sección de *Profiles* se describen las características acústicas de las fuentes de emisión (las aeronaves) y el perfil de vuelo de las aeronaves.

► **Características acústicas:**

▪ **Librería AzB 1975:**

En la tabla On,Rn se encuentra los niveles de presión sonora en bandas de octava del sonido generado por un avión a una distancia  $S_0$  (m) (Figura 34).

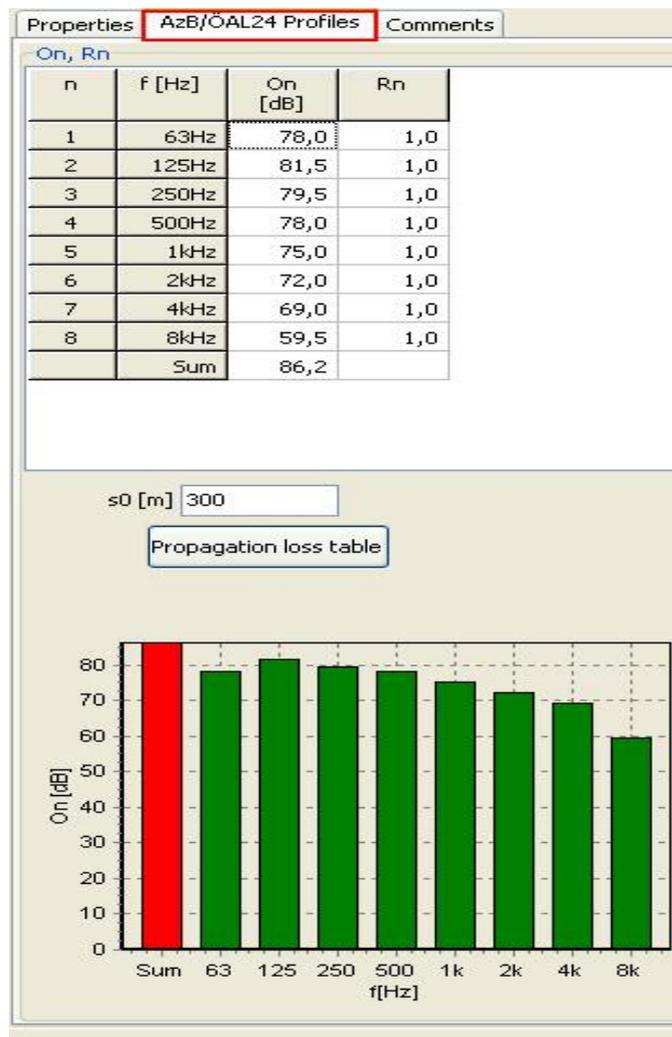


Figura 34: Emisión acústica de una aeronave

El valor de  $O_n$  representa el nivel de presión sonora en cada banda de octava medido a una distancia de referencia  $S_0$  (m). También se puede observar

una representación gráfica del espectro, siendo la barra roja la suma en bandas de octava. El valor de  $R_n$  simula de una manera simplificada la directividad del avión.

Con estos valores se calcula la tabla (Figura 35) que determina la distancia límite a la cual el ruido de la aeronave se considera relevante, además se calculan las pérdidas de propagación del sonido. Para generar esta tabla se debe hacer click en *Propagación loss table*.

No.	s [m]	lg(s)	LA [dB(A)]	E [dB(A)]
31	31,6	1,50	102,386	0,336
32	35,5	1,55	101,339	0,377
33	39,8	1,60	100,286	0,424
34	44,7	1,65	99,227	0,476
35	50,1	1,70	98,163	0,535
36	56,2	1,75	97,091	0,601
37	63,1	1,80	96,012	0,676
38	70,8	1,85	94,925	0,759
39	79,4	1,90	93,829	0,854
40	89,1	1,95	92,724	0,959
41	100,0	2,00	91,609	1,078
42	112,2	2,05	90,483	1,211
43	125,9	2,10	89,347	1,361
44	141,3	2,15	88,199	1,528
45	158,5	2,20	87,039	1,714
46	177,8	2,25	85,867	1,922
47	199,5	2,30	84,683	2,152
48	223,9	2,35	83,486	2,406
49	251,2	2,40	82,277	2,684
50	281,8	2,45	81,055	2,987
51	316,2	2,50	79,821	3,315
52	354,8	2,55	78,575	3,664
53	398,1	2,60	77,318	4,034
54	446,7	2,65	76,048	4,419
55	501,2	2,70	74,765	4,814
56	562,3	2,75	73,470	5,213
57	631,0	2,80	72,161	5,608

Figura 35: Pérdidas de propagación del sonido

Donde,

- $s$  (m): distancia en metros.

- $\lg(s)$ : logaritmo de la distancia  $s$ .
- $L_A$  (dBA): nivel de presión sonora de la emisión acústica de la aeronave con ponderación A.
- $E$  (dBA): pérdidas por propagación del sonido.

Para calcular el nivel de presión sonora  $O_n(s)$  para una distancia diferente de la de referencia el programa utiliza la siguiente fórmula definida en el estándar AzB del año 1975:

$$O_n(s) = O_n - 20 \lg (s/s_0) - R_n \cdot d_n \cdot (s-s_0).$$

Para calcular  $E$  en función de la distancia  $s$  el programa tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$E(s) = L_A(s) - L_B(s).$$

El valor de  $L_A(s)$  es el nivel de presión sonora de la emisión acústica de la aeronave con ponderación A. La suma en bandas de octava se realiza con la siguiente fórmula:

$$L_A(s) = 10 \lg \sum_n 10^{[O_n(s) + A_n]/10}$$

El valor de  $L_B(s)$  se consigue con la siguiente ecuación:

$$L_B(s) = 10 \lg \sum_n 10^{[O_n(s) - B_n(s) + A_n]/10}$$

Siendo  $B_n(s)$  las pérdidas de la propagación del sonido por efecto del suelo:

$$B_n(s) = G_n \cdot \frac{R_n \cdot s/s_1}{\sqrt{1 + (R_n \cdot s/s_1)^2}}$$

Las constantes  $d_n$ ,  $G_n$  y  $A_n$  están tabuladas (Figura 36) y se determinan para cada banda de octava.

n	Bandas de octava [Hz]	$d_n$ [dB/m]	$G_n$ [dB]	$A_n$ [dB]
1	63	$0,33 \cdot 10^{-3}$	5	-26,2
2	125	$0,66 \cdot 10^{-3}$	7,5	-16,1
3	250	$1,3 \cdot 10^{-3}$	10	- 8,6
4	500	$2,3 \cdot 10^{-3}$	9	- 3,2
5	1000	$4,9 \cdot 10^{-3}$	8	0
6	2000	$10,2 \cdot 10^{-3}$	7	1,2
7	4000	$25,6 \cdot 10^{-3}$	6	1,0
8	8000	$43,0 \cdot 10^{-3}$	5	- 1,1

Figura 36: Valores de las constantes  $d_n$ ,  $G_n$  y  $A_n$

Los valores intermedios de la tabla de pérdidas de propagación del sonido (Figura 35) serán derivados por interpolación lineal utilizando los valores logarítmicos de la distancia ( $\lg(s)$ ). Con el parámetro *End of table* se determina la máxima distancia a la cual el ruido generado por la aeronave es relevante, para distancias mayores el ruido de la aeronave es cero.

▪ **Librería AzB 2008:**

En la tabla On,Rn se encuentra los niveles de presión sonora en bandas de octava del sonido generado por un avión a una distancia  $s_0$  (m) (Figura 37).

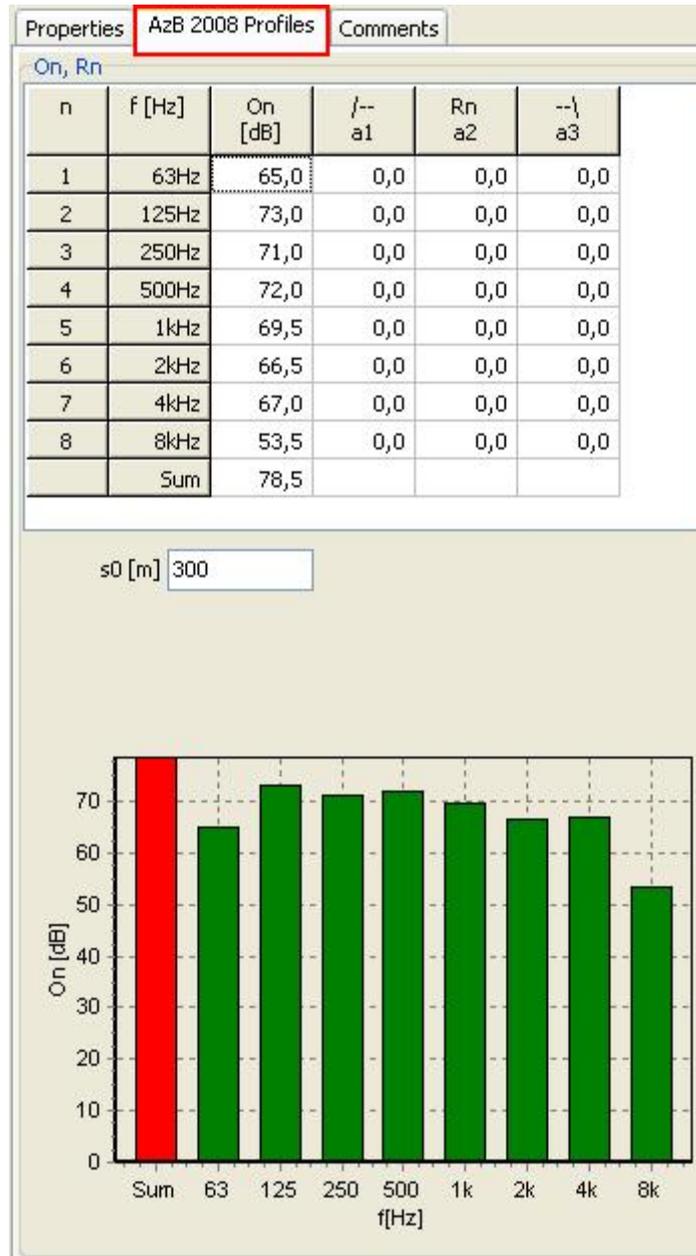


Figura 37: Emisión acústica. AzB 2008

Al igual que en la librería AzB 1975 el valor de  $O_n$  representa el nivel de presión sonora en cada banda de octava medido a una distancia de referencia  $S_0$  (m). La directividad en este caso se define en un plano 2D con respecto a los factores  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  definidos por el vector  $R_n$ . Estos factores son los coeficientes de un desarrollo en serie del coseno con respecto a un ángulo  $\theta$ .

Haciendo click sobre alguno de los coeficientes de directividad saldrá el diagrama de directividad de la aeronave (Figura 38).

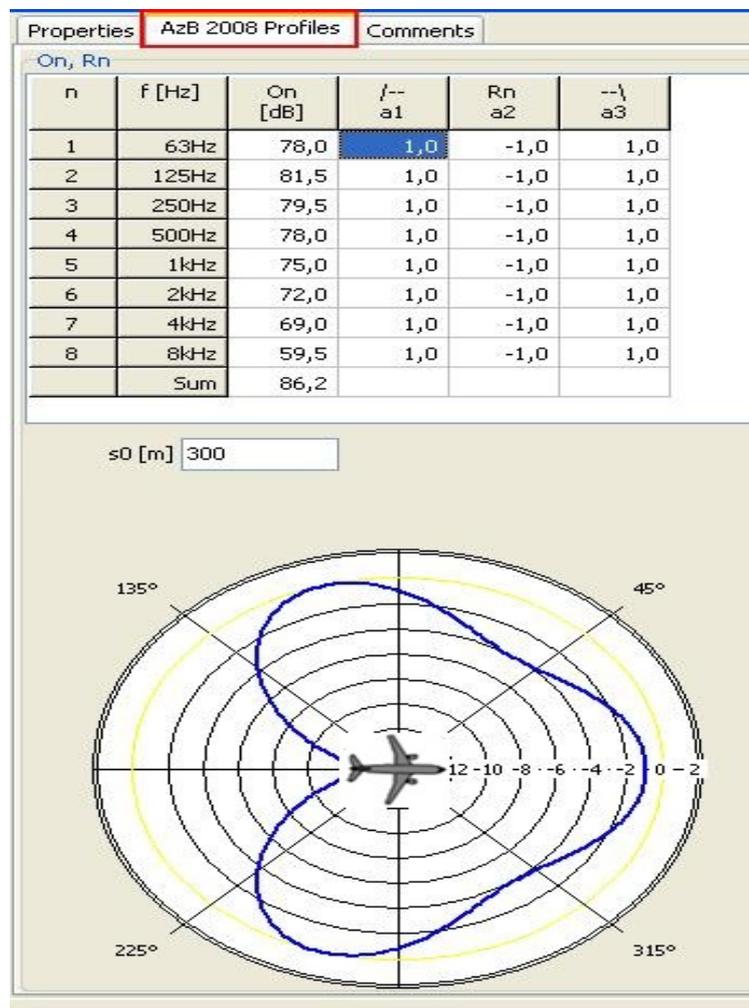


Figura 38: Diagrama de directividad AzB 2008

En el diagrama de directividad la aeronave siempre está apuntando al ángulo de cero grados.

► **Perfil de vuelo**

El perfil de vuelo describe la trayectoria vertical de una clase de aeronave. Tanto para el estándar AzB 1975 como para el estándar AzB 2008 las tablas de perfil de vuelo son similares existiendo solo diferencias sutiles.

▪ **Librería AzB 1975**

Las tablas de perfil de vuelo contienen los siguientes parámetros (Figura 38):

Sigma' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
0	0	40	0
1100	0	75	0
5100	0	75	-
5600	-	75	460
6100	-1	-	-
10400	-1	110	650
15000	-1	135	1000

Sigma' [m]	dZ/ds' [dB/m]	dv/ds' [1/s]	dH/ds'
15000	0	0	0,126

Figura 39: Perfil de vuelo AzB 1975

- **Sigma' (m):**

Posición de la aeronave con respecto al punto de despegue o al punto de aterrizaje. Hay que tener en cuenta que pueden existir valores negativos ya que el

sistema de referencia depende del tipo de operación (ver Figura 7). Los valores negativos se presentan en el caso de aterrizajes, cuando la aeronave ya ha pasado el punto de aterrizaje. En esta columna se permite como dato de entrada la variable X definida en la pestaña de propiedades (*Properties*).

- **Z (dB):**

El valor de Z es un nivel adicional en decibelios para reflejar los cambios en el rendimiento del motor durante el vuelo. De esta manera se adaptan dichos cambios en las características de emisión en el cálculo. Este valor está en función de Sigma'.

- **V (m/s):**

Velocidad de la aeronave en función de Sigma'.

- **H (m):**

Altura de la aeronave en función de Sigma'. Se permite como dato de entrada la constante h0 definida en la sección de trayectorias (*Tracks*).

En la parte inferior de la tabla se define la relación entre la altura H y la distancia Sigma'. Por ejemplo, cuando se tiene Sigma' igual a 15000 y  $dH/ds'$  igual a 0.126 significa que a distancias mayores de 15000 metros la relación entre la H y Sigma' es igual a 0.126, de ahí el programa calcula la altura H para distancias mayores de 15000. En la columna  $dH/ds'$  se permite como dato de entrada la variable TGW definida como la tangente del ángulo  $w$ .

Para editar los valores de cualquier columna simplemente se hace click sobre la columna correspondiente y se escribe el valor deseado.

▪ **Librería AzB 2008:**

Las tablas de perfil de vuelo según el estándar AzB 2008 son similares a las del estándar AzB 1975 con la excepción de que en la columna Sigma' se permite como dato de entrada las variables Sz y Sv (Figura 40).

Sigma' [m]	Z [dB]	V [m/s]	H [m]
-300-Sv	-10	15	0
-400	5	60	0
-300	0	65	0
7400	0	65	-
X	-1	108	h0
X+Sz	-1	108	h0

Sigma' [m]	dZ/ds' [dB/m]	dV/ds' [1/s]	dH/ds'
X+Sz	0	0	TGW

Figura 40: Perfil de vuelo AzB 2008

**Nota:** A pesar de que el programa permite que las variables Sz y Sv sean ingresadas en la columna Sigma' no deja escribirlas con el teclado. Para ello es necesario escribir las variables en un *bloc de notas*, copiarlas (ctrl+c) y luego pegarlas (ctrl+v) en la columna Sigma'.

### 3.3.6. Datos de tráfico

En la tabla de datos de tráfico se asigna el número de eventos para cada tipo de operación (despegue/aterrizaje). Para acceder al módulo de datos de tráfico se debe hacer click en el icono *Data Traffic* que se encuentra debajo del icono de *Classes*.

Tal y como se ha mencionado anteriormente es muy importante que la librería asignada en el módulo de clases de aeronaves coincida con el estándar elegido. Para ver la relación entre los estándares y las librerías disponibles ir al apartado *Clases de aeronaves*. Si no se elige la librería adecuada, en la tabla de datos de tráfico no saldrán las correspondientes clases de aeronaves (Figura 41).

Aircraft classes	Day	Evening	Night	Nmax (max h)
<b>Vacío!!! No se han detectado correctamente las clases de aeronaves debido a que se les ha asignado una librería incorrecta.</b>				
<b>Traffic sum of current track:</b>	0	0	0	0
<b>Total Traffic of Aeroplanes</b>	0	0	0	0

Figura 41: Datos de tráfico. Detección incorrecta de las clases de aeronaves

Cuando la librería coincide con el estándar elegido el programa carga automáticamente la tabla de datos de tráfico para las clases de aeronaves posibles y para las trayectorias definidas. Las trayectorias se pueden ver en la parte izquierda de la ventana (*Flight Track*), ahí saldrán todas las trayectorias con los nombres asignados en *Tracks*.

Para cada tipo de trayectoria saldrán las clases de aeronaves que correspondan con la operación definida por la trayectoria. Por ejemplo, se han construido dos trayectorias tanto de despegue como de aterrizaje con el nombre *Salida* y *Llegada*, respectivamente, y en las clases de aeronaves se ha agregado un grupo de aeronave de tipo *S-5.1*, con las respectivas clases de despegue y aterrizaje. Cuando se selecciona la trayectoria *Salida* en la parte derecha se visualiza la clase de aeronave *S-5.1-Dep* (Figura 42) y cuando es seleccionada la trayectoria *Llegada* se visualiza la clase de aeronave *S-5.1-Arr* (Figura 43).

The screenshot shows a software interface with a 'Flight track' panel on the left containing 'Salida' and 'Llegada'. The main panel has a 'View' section with checkboxes for 'only with traffic' and 'only selected classes', and an 'Assessment period' of 180 days. Below this is a table of aircraft classes with columns for 'Aircraft classes', 'Day', 'Evening', 'Night', and 'Nmax (max h)'. The row 'A-S 5.1 Departure A-S 5.1 - Dep' is highlighted with a red border. At the bottom, there is a summary table for traffic.

Aircraft classes	Day	Evening	Night	Nmax (max h)
A-S 5.1 Departure A-S 5.1 - Dep	0	0	0	0

<b>Traffic sum of current track:</b>	0	0	0	0
<b>Total Traffic of Aeroplanes</b>	0	0	0	0

Figura 42: Datos de tráfico. Despegue

Aircraft classes	Day	Evening	Night	Nmax (max h)
A-S 5.1 Approach A-S 5.1 - Arr	0	0	0	0
<b>Traffic sum of current track:</b>				
<b>Total Traffic of Aeroplanes</b>				
	0	0	0	0
	0	0	0	0

Figura 43: Datos de tráfico. Aterrizaje

El numero de eventos o movimientos de las clases de aeronaves se ingresan para un periodo de 6 meses (180 días). La tabla está compuesta por 4 columnas *Day* (Día), *Evening* (Tarde), *Night* (Noche) y *Nmax*. Cada una de ellas define los diferentes períodos del día y su duración depende del estándar elegido. La columna *Nmax* solo se tiene en cuenta para el estándar DIN 45643 y en ella se ingresan los eventos de la hora más ruidosa de la noche. Para el resto de estándares esta columna se ignora.

Para editar el nombre de la tabla o agregar más tablas de tráfico hay que ir a la parte superior de la ventana (Figura 44). Desde ahí se pueden gestionar la cantidad de tablas creadas y haciendo click en *Graphics* se puede visualizar los movimientos definidos para la tabla asignada.

Figura 44: Datos de tráfico. Editar o agregar tablas

Haciendo click en *Calculator* (Figura 45) se pueden realizar cálculos entre las columnas o incluso intercambiar datos entre ellas. Es una buena herramienta para realizar estimaciones o incrementar el número de eventos de un período de tiempo o de todo el día.

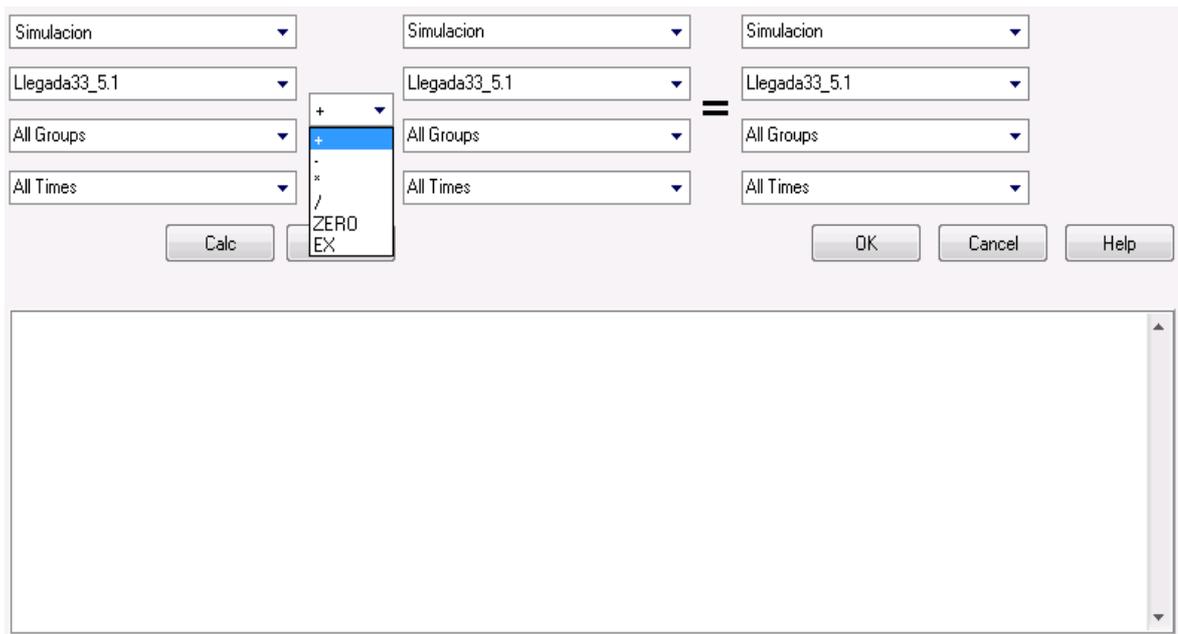


Figura 45: Datos de tráfico. Calculator

Una vez que se ha finalizado de definir la tabla de tráfico se hace click en *OK* y automáticamente se crea el archivo Geo (Geo-file) que contiene los datos geográficos del aeropuerto y las pistas, así como también el número de eventos y las clases de aeronaves.

### 3.3.7. Diagnóstico de errores

Una vez que se hayan ingresado todos los datos de entrada se procede a realizar un diagnóstico de errores y luego a guardar los datos creados. Para ello hay que ir a la parte inferior derecha de la ventana principal *Data Entry* (Figura 46).

Seleccionando el botón *Check Data* se puede ver si el proyecto está definido correctamente, si no es así saldrá uno o varios mensajes de error indicando la situación anómala. Luego, haciendo click en *Save* se guardarán todos los datos y se podrá proceder a realizar los cálculos.



Figura 46: Check Data

Las opciones gráficas se pueden ver en el botón *Settings* (Figura 47). Por ejemplo, se puede seleccionar que se visualicen las trayectorias en 3D, es decir que se pueda ver el perfil de vuelo en el módulo Geo-Database.

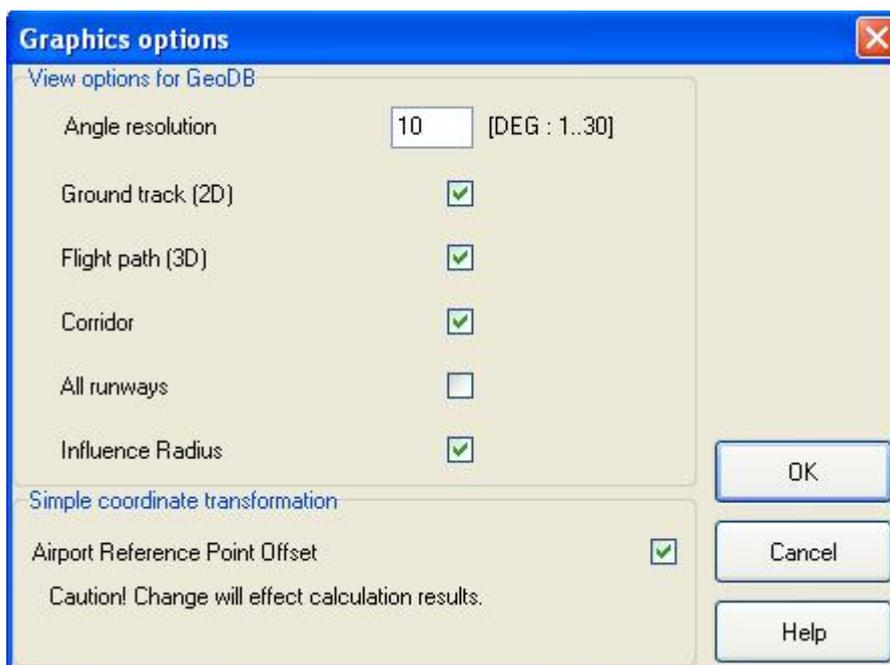


Figura 47: Settings

### 3.3.8. Flujo y estructura de datos

Los datos de entrada se guardan en dos ficheros principales:

- **AIRPORT.FLK:** En este fichero se guardan los datos de las clases de aeronaves.
- **AIRPORT.FLD:** En este fichero se guardan los datos geográficos del aeropuerto, las pistas y los trayectos.

A dichos ficheros no se les puede cambiar el nombre. Si se quiere crear un nuevo proyecto con los mismos parámetros que un proyecto actual se deben copiar los siguientes archivos a la carpeta donde se va a guardar el nuevo proyecto: *AIRPORT.FLK*, *AIRPORT.FLD*, *ZBDef.abs*, *Project.sp* y *AirCrafts.abs*

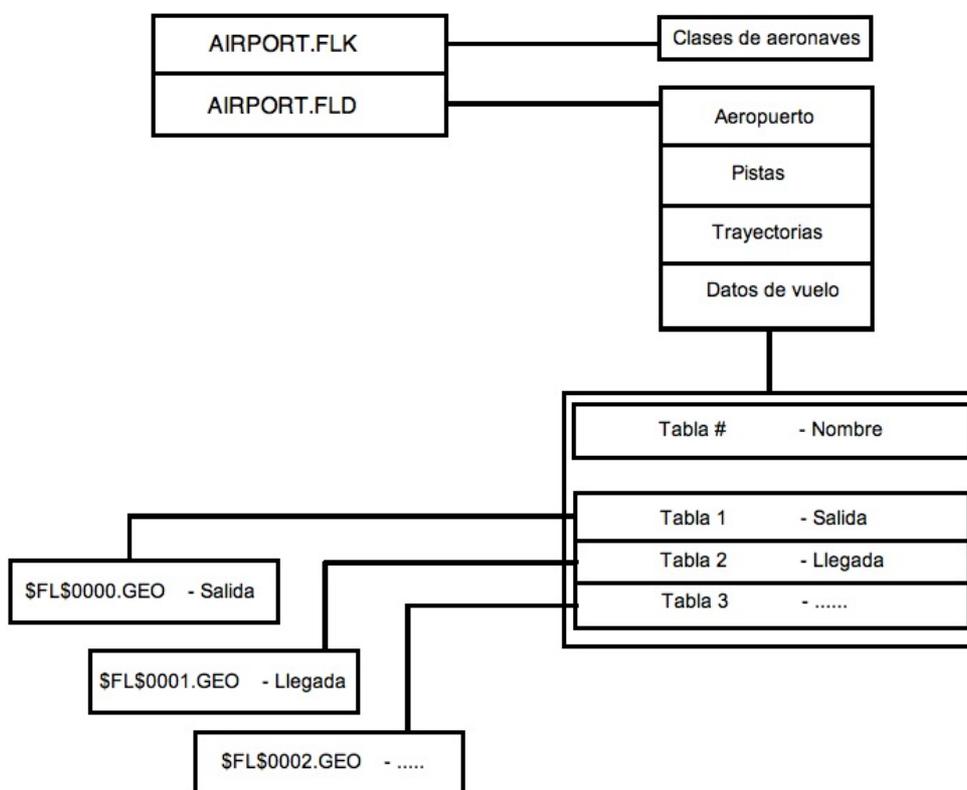


Figura 48: Flujo y estructura de datos

Los ficheros \$FL\$xxxx.GEO contienen toda la información geográfica del aeropuerto y las pistas, no se les puede cambiar el nombre. El campo xxxx indica el índice del fichero, se permiten hasta 4 dígitos.

### 3.4. Base de datos GEO

Los contenidos geográficos del aeropuerto, pistas y las trayectorias están contenidos en ficheros .GEO. En el módulo *Geo-Database* se configuran las situaciones de cálculo, es decir, se crean las mallas y los puntos receptores que se verán involucrados en el cálculo. Para acceder al módulo *Geo-Database* hay que hacer click en el botón correspondiente de la ventana principal del programa SoundPlan.

Justo al entrar en el módulo GEO saldrá una ventana llamada *Situation Manager* (Figura 49) en la que se definirá la situación o situaciones.

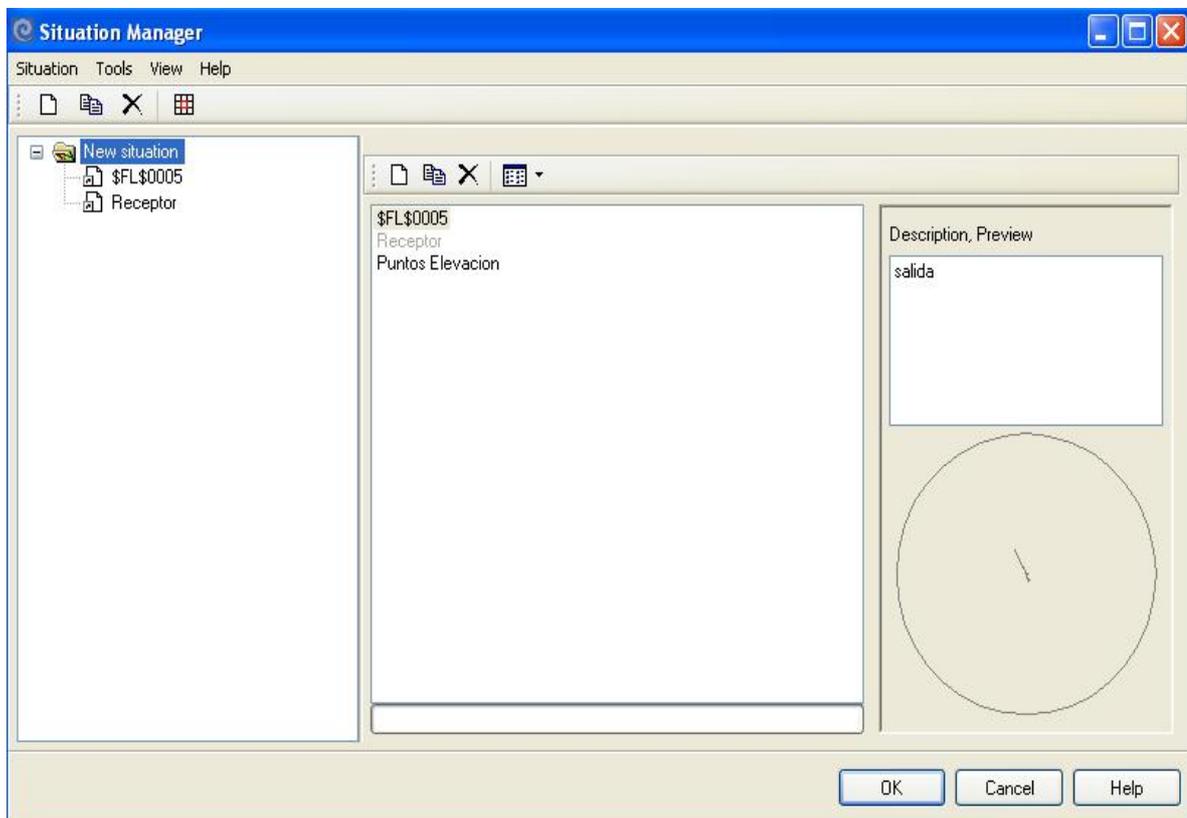


Figura 49: Situation Manager

En la parte derecha de la ventana se encuentran todos los ficheros .geo disponibles en el proyecto con su respectiva descripción. Para crear una situación se seleccionan los ficheros .geo disponibles y se le asigna un nombre a la nueva situación.

Para crear una malla o puntos receptores es conveniente hacerlo en capas diferentes al archivo .geo de las trayectorias. En la pestaña *Receivers* (Figura 50) se pueden crear las mallas o agregar según las coordenadas deseadas los puntos donde estarán los receptores.



Figura 50: Mallas y receptores

Para crear las mallas habrá que seleccionar el botón *Calculation Area* y para los receptores el botón *Receiver*, además a los receptores también se les puede asignar la altura. Si todas las capas están activas se puede visualizar la malla, los receptores y las pistas con sus trayectos (Figura 51).

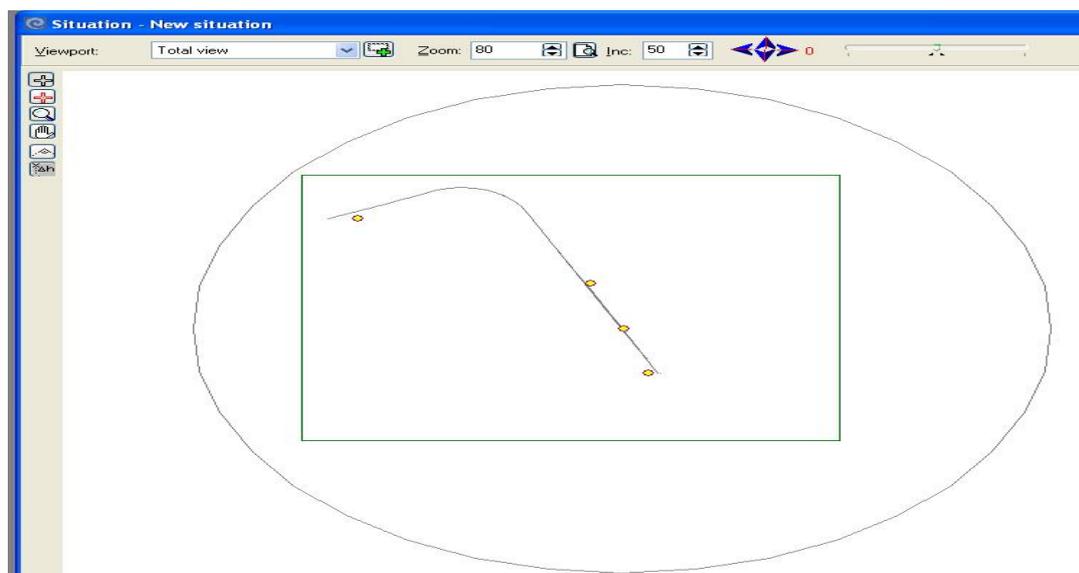


Figura 51: Mallas, receptores, pista y trayectos

Para estar seguro de que las alturas de los objetos están bien y guardan una correcta relación con los demás objetos, se puede ir a *View* → *Fron Elevation* y se verá una vista frontal de la situación donde se mostrarán todos los objetos con sus correspondientes alturas. Además, se puede seleccionar una vista en 3D (*View* → *3D wire frame*) para ver el perfil de vuelo de las diferentes clases de aeronaves (Figura 52).

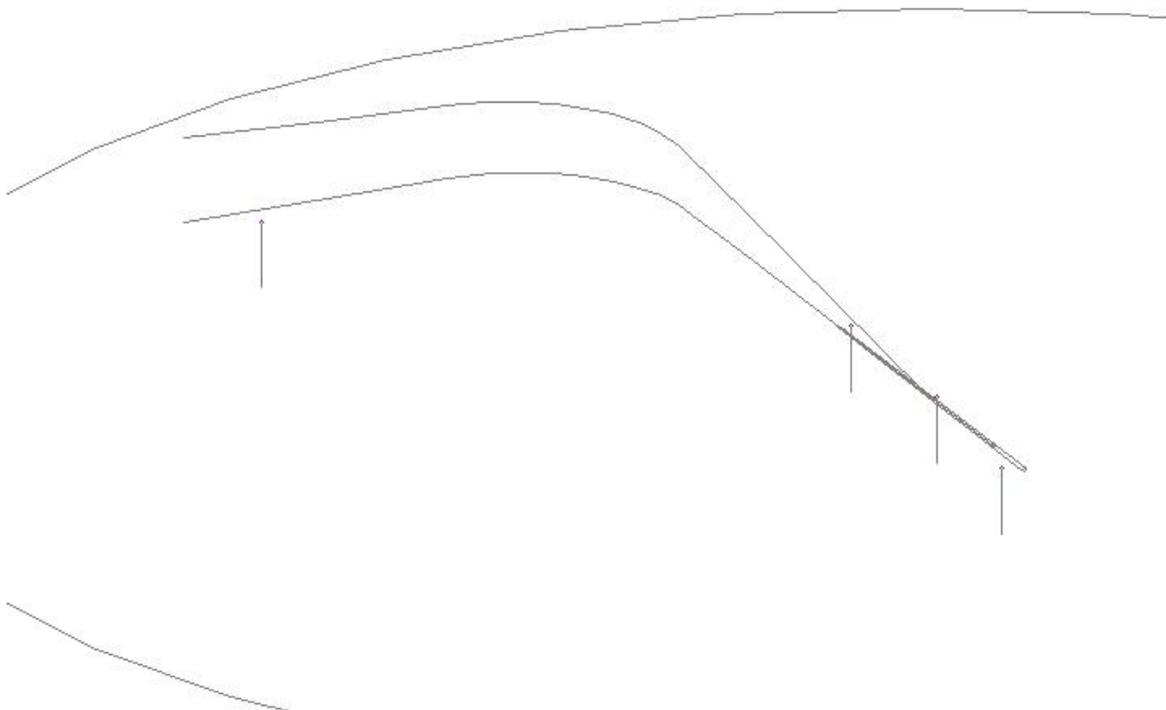


Figura 52: Vista en 3D del perfil de vuelo



### 3.5. Cálculos

En el módulo *Calculation* se realizan los cálculos tanto para receptores puntuales o para una malla de receptores. Todos los cálculos se guardan en un archivo *.runx*, el nombre del archivo se puede definir libremente y se guardará en la carpeta principal del proyecto. Todos los cálculos se ordenan en una tabla con las siguientes columnas: *Calc*, *Name*, *Calc Type*, *Result*, *Data*, *Last Edit* y *Last Run*. En la pestaña *Run File* se definen los cálculos y se ejecutan uno tras otro según el orden definido en la tabla, permitiendo de esta manera encadenar múltiples cálculos de diferentes propiedades.

Para agregar un cálculo se debe hacer click en el botón + que está en la parte superior, a su vez si se quiere eliminar alguno se debe hacer click en el botón – que también está en la parte superior. Los cálculos se habilitan en la columna *Calc* donde se puede elegir *YES* o *NO*.

Haciendo click con el botón derecho sobre la fila deseada se puede entrar en las propiedades del cálculo (*Properties*) para elegir el tipo de cálculo y la situación GEO (Figura 53). La primera pestaña se denomina *General* y en ella se describen las características generales del cálculo.

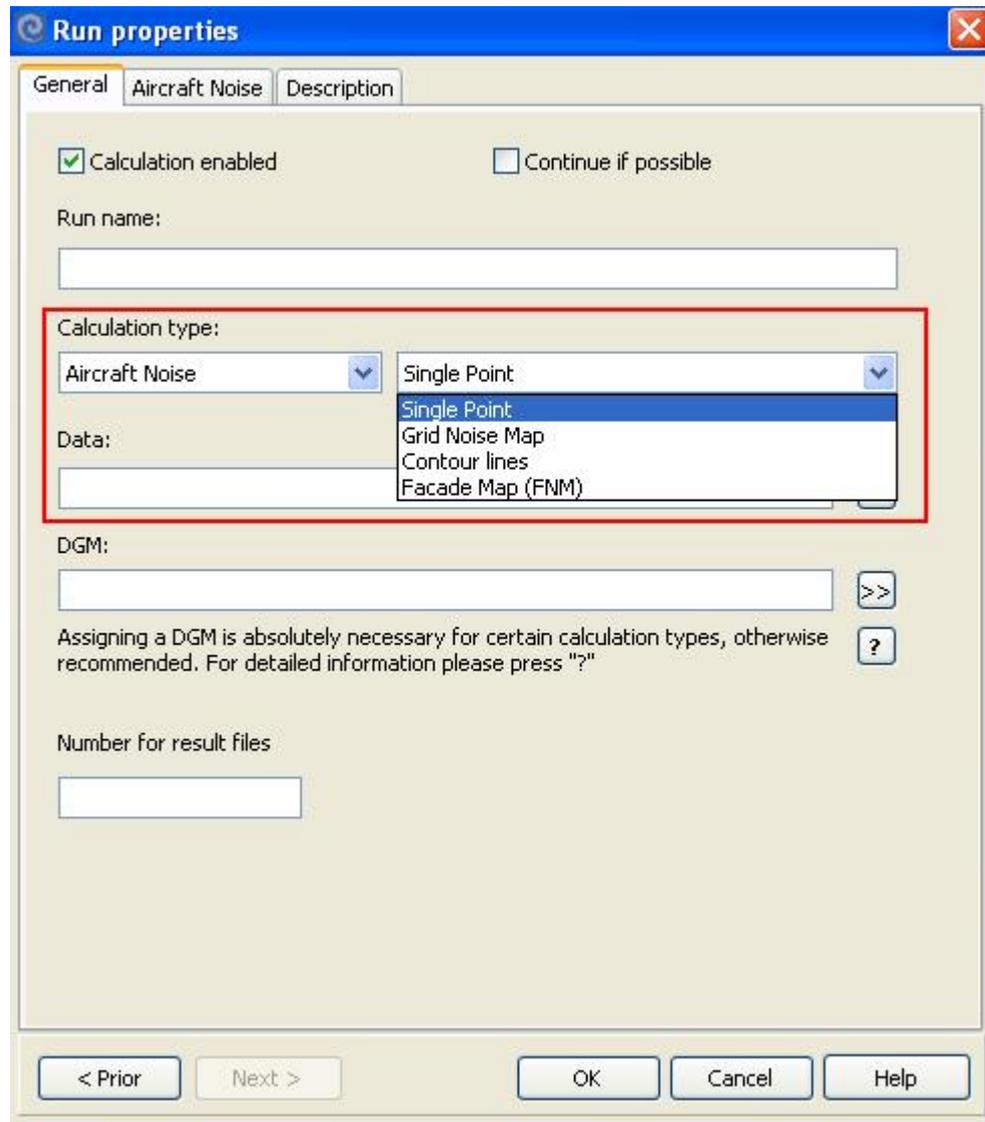


Figura 53: Módulo de cálculos

En el campo *Calculation type* hay diferentes opciones:

- Outdoor Noise (Ruido en exteriores)
- Indoor Noise (Ruido en interiores)
- Aircraft Noise (Ruido de aeronaves)
- Air Pollution (Contaminación aérea)
- Geometry (Geometría → DGM)
- Tools

Luego se elige el tipo de cálculo, por ejemplo, *Single Point* (Punto receptor) o *Grid Noise Map* (Malla). En *Data* (Figura 54) se carga la situación involucrada en el cálculo o en su defecto los archivos .geo que contengan los datos geográficos del escenario a simular. Es muy importante tener en cuenta que si se realiza un cálculo tipo *Single Point* hay que cargar el archivo .geo de los receptores, previamente creado en el módulo GEO-Database. Asimismo, ocurre con el cálculo tipo *Grid Noise Map* en el cual hay que cargar el archivo .geo de la malla. De lo contrario no se realizará el cálculo.

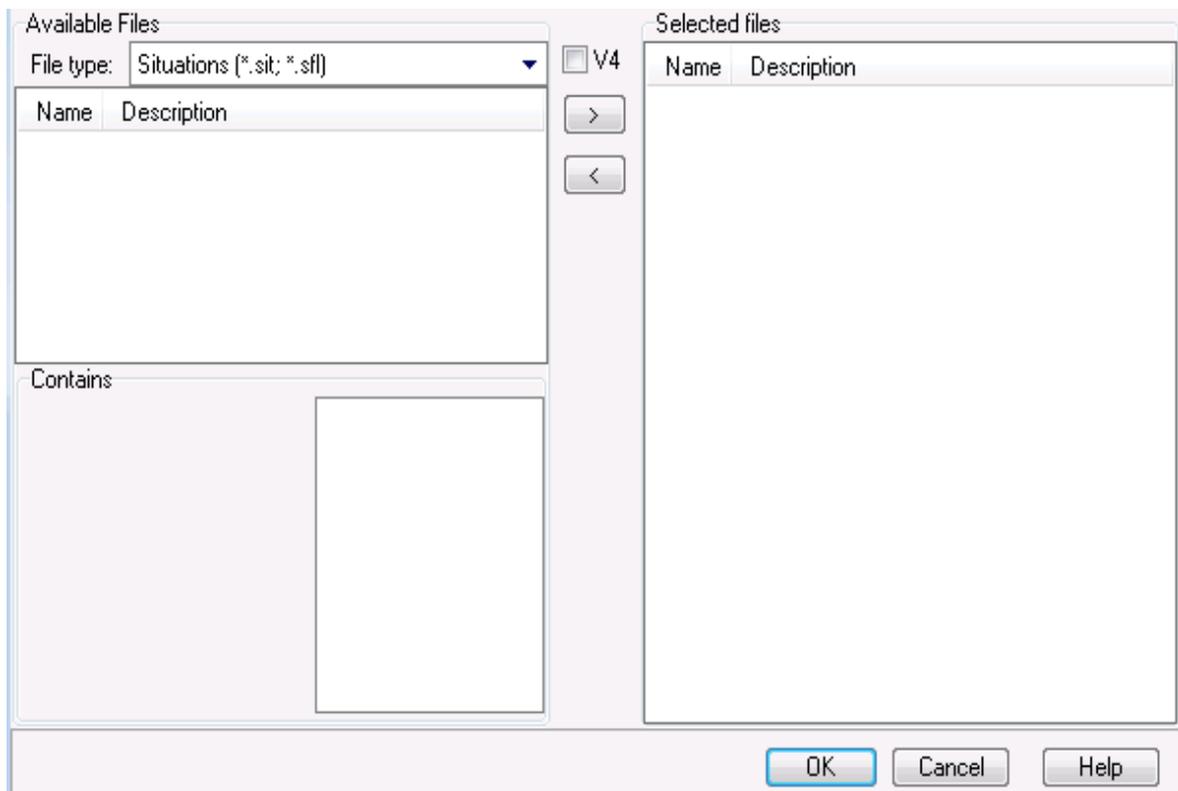


Figura 54: Módulo de cálculos. Data

En el campo *DGM* se carga el modelo digital del terreno que será la base geográfica de todos los cálculos, sin ella no se puede realizar ningún cálculo. Más adelante se explicará el proceso de creación del DGM.

Una vez elegido el tipo de cálculo para ruido de aeronaves (*Aircraft Noise*)

se crea una pestaña automáticamente denominada *Aircraft Noise* (Figura 55) donde se elige el estándar para realizar el cálculo. Lo conveniente es que se seleccione el estándar que previamente se había elegido antes de empezar el proyecto, ya que pueden ocurrir incompatibilidades en el cálculo.

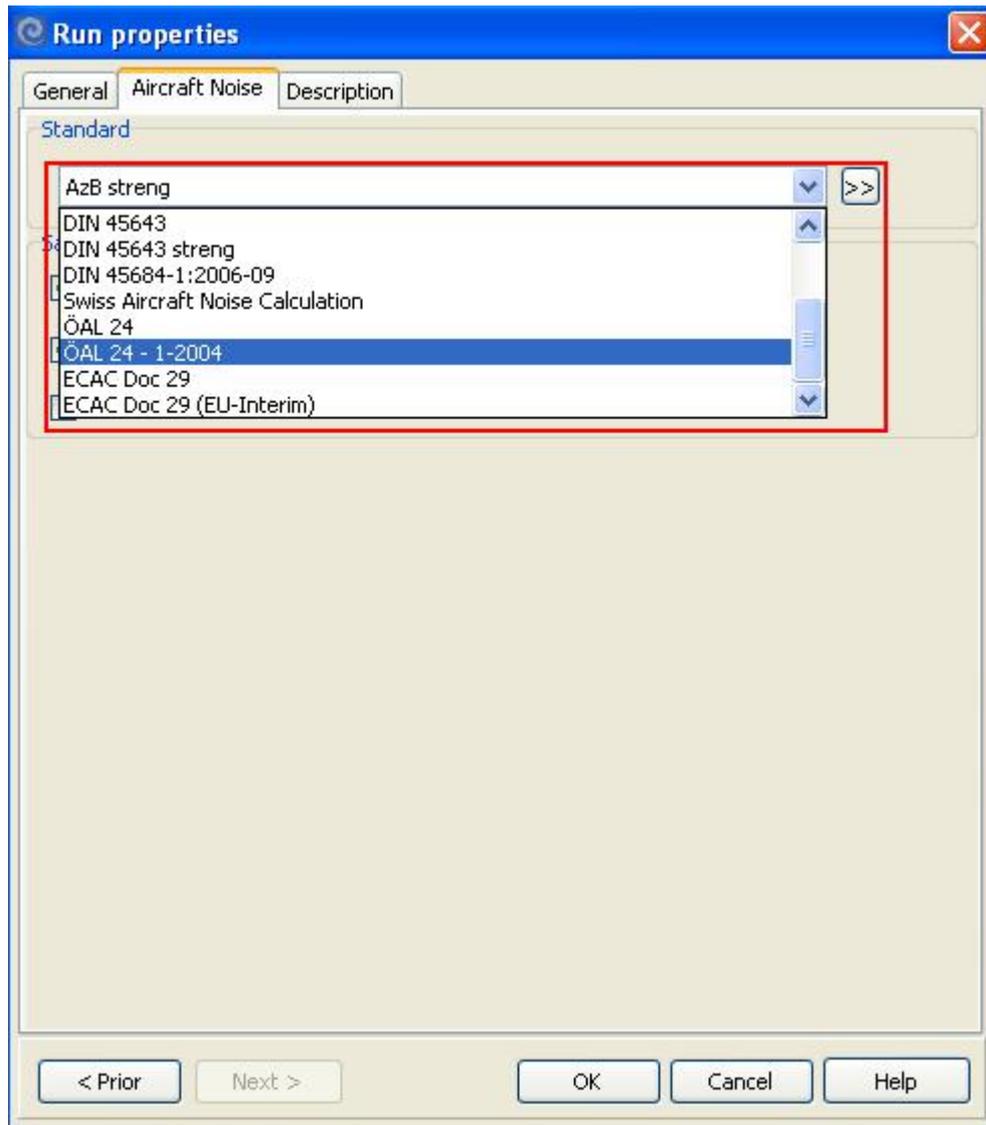


Figura 55: Módulo de cálculos. *Aircraft Noise*

Luego, se pueden elegir los parámetros de cálculo, estos ya están asignados por defecto pero se pueden cambiar. Estos parámetros dependen del estándar pero los más usuales son:

- Halving Parameter q
- Limit Level (dB)
- Table limit according to
- Assessment according to
- Take receiver elevation into account

Ver el apartado *Elección del método de cálculo* para una explicación detallada de estos parámetros.

Por ejemplo, en el caso del estándar ECAC Doc 29 (Figura 56) existe la opción de cambiar el tipo de viento: *Calm* o *Moderate*.

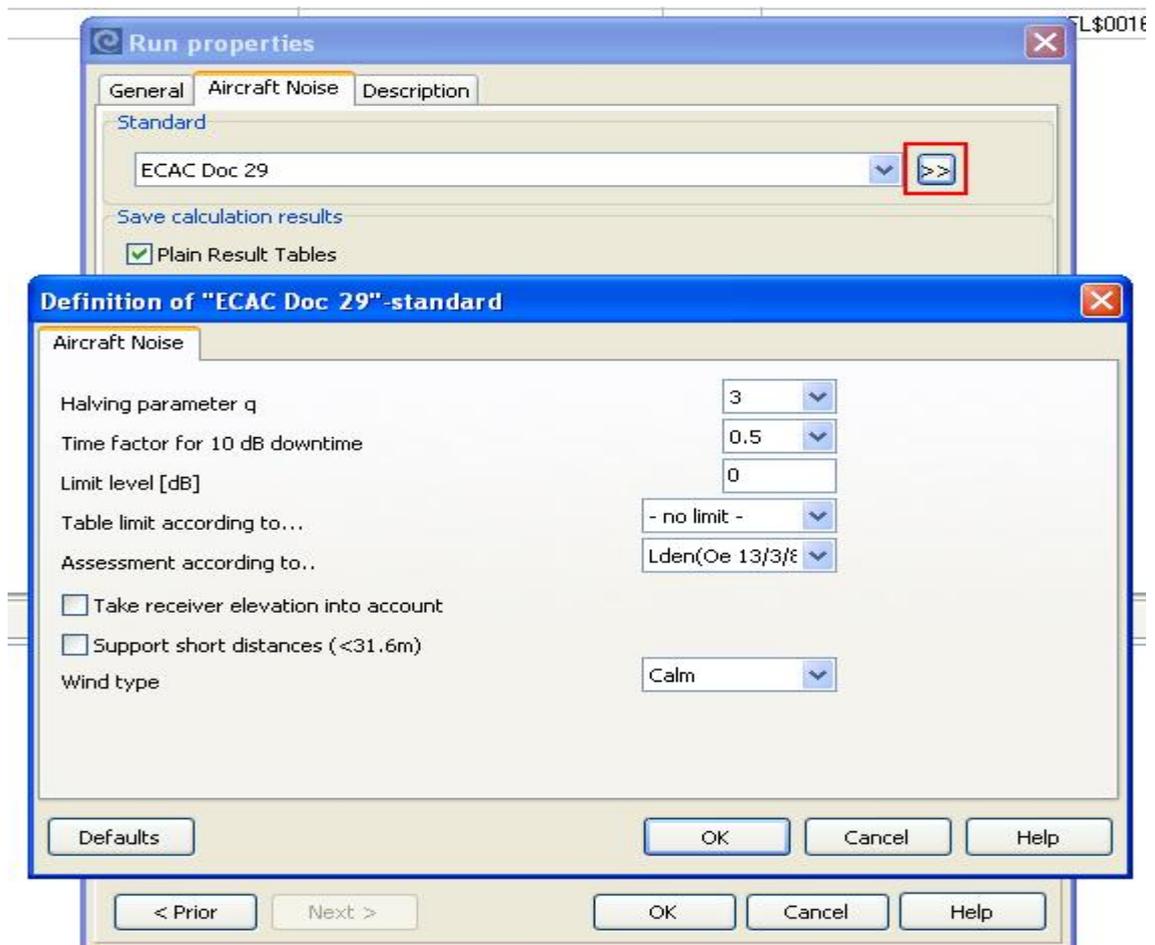


Figura 56: Módulo de cálculo. ECAC Doc 29

En el caso que el tipo de cálculo sea *Grid Noise Map* se crea una pestaña denominada *Grid Noise Map* (Figura 57) donde se pueden cambiar los parámetros de cálculo de la malla.

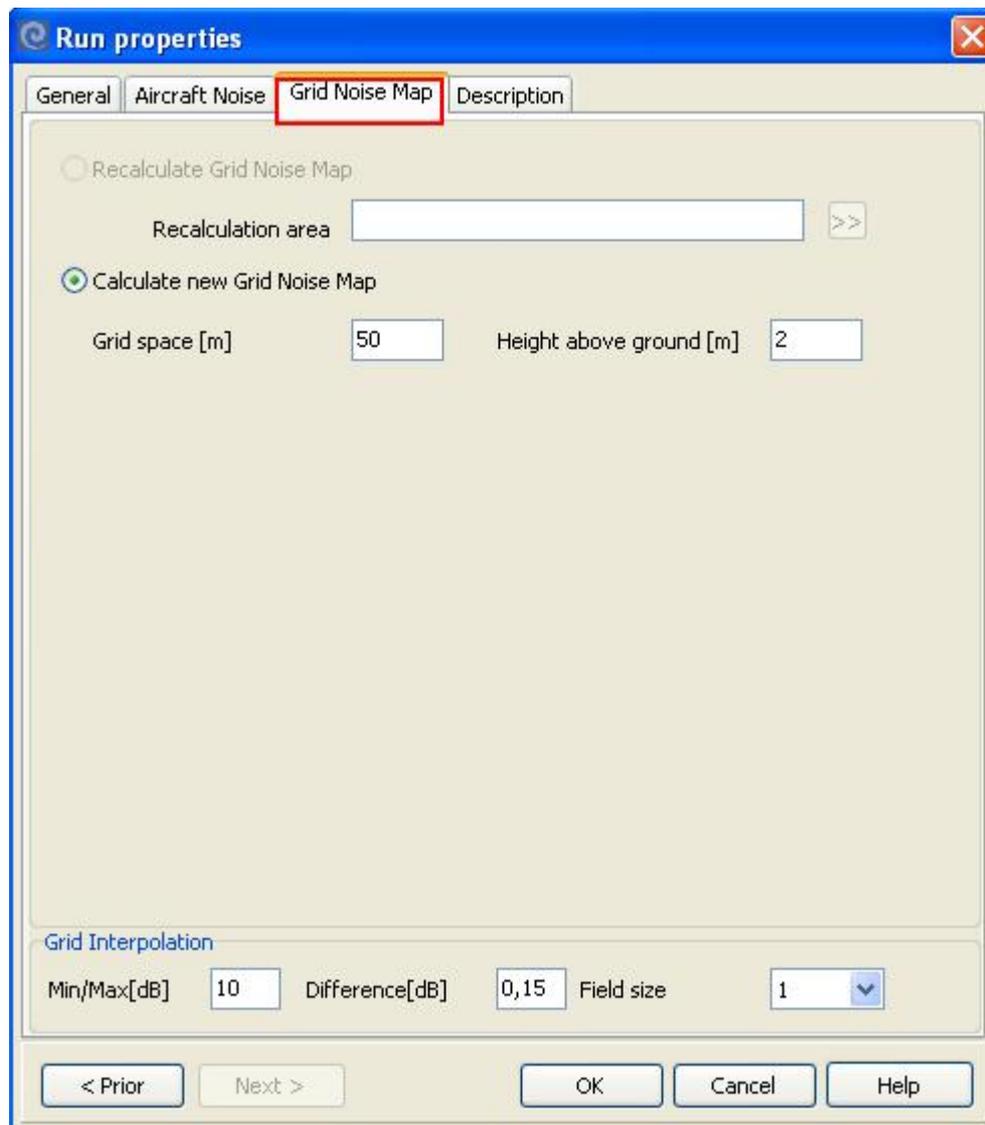


Figura 57: *Grid Noise Map*

Mediante la opción *Calculate New Grid Noise Map* se calcula un mapa acústico por cuadrículas de toda la malla creada en la base de datos Geo (GEO-Database). En *Grid Space* se determina el ancho de cada cuadrícula y en *Height Above Ground* se elige la altura de cada receptor.

En cada cuadrícula se calculan los valores para el receptor central y los cuatro receptores de las esquinas, el resto de valores se calculan por interpolación. En *Grid Interpolation* se definen las condiciones de la interpolación:

- **Min/Max (dB):**

Propagación máxima permitida para el bloque. Los receptores de las esquinas y el centro no superan este valor.

- **Difference (dB):**

Diferencia máxima. La desviación para la interpolación del receptor central no debe superar esta diferencia.

- **Field Size:**

Define el tamaño máximo de los bloques para la interpolación. Cuando se selecciona el valor 1 se suprime la interpolación. Las posibilidades son:

1x1: sin interpolación.

3x3: bloque de interpolación máxima con 9 receptores.

5X5: bloque de interpolación máxima con 25 receptores.

9X9: bloque de interpolación máxima con 81 receptores.

- **Creación del DGM**

El modelo digital del terreno se crea a partir de una base de datos topográfica de la zona donde se quiera realizar una simulación. Esta base de datos proporciona un modelo simplificado de los niveles de *puntos de cota*, es decir, los puntos de elevación del terreno.

Estos datos están guardados en un archivo ESRI Shapefile, éste es un archivo estándar creado por la compañía ESRI<sup>13</sup> para el intercambio de información geográfica. Toda la información se distribuye en tres archivos:

- **Archivo .shp:**

Archivo principal de acceso directo y registros de longitud variable. En cada registro se describe una forma o figura (*shape*) con una lista de vértices.

- **Archivo .shx:**

Archivo índice con registros de longitud fija. Los registros de este archivo guardan la posición de los registros del archivo principal (.shp)

- **Archivo .dbf:**

Archivo donde se guardan los atributos de cada forma o figura, cada registro de este archivo contiene solo una característica de la forma o figura descrita en el archivo principal.

En el caso de importar o exportar archivos *Shapefile* solo hace falta el archivo principal .shp, los otros dos se crean automáticamente.

- **Puntos de cota**

Para exportar los puntos de cota guardados en un archivo ESRI Shapefile al SoundPlan hace falta utilizar el módulo Geo-Database. Primero se tiene que crear una nueva *situación*, en ésta estarán los *puntos de cota* y los edificios.

Para exportar los *puntos de cota* tenemos que hacer lo siguiente: *File*→*Import*→*ESRI Shape file*, a continuación saldrá una ventana (Figura 58) donde se cargará el archivo que contiene los *puntos de cota*. Hay que definir los

<sup>13</sup> Environmental Systems Research Institute, Inc

siguientes parámetros:

- **Object type:**

Hay que seleccionar *Spot height*.

- **Filters definition:**

Hay que seleccionar el eje Z y en *Spot height properties* seleccionar h1.

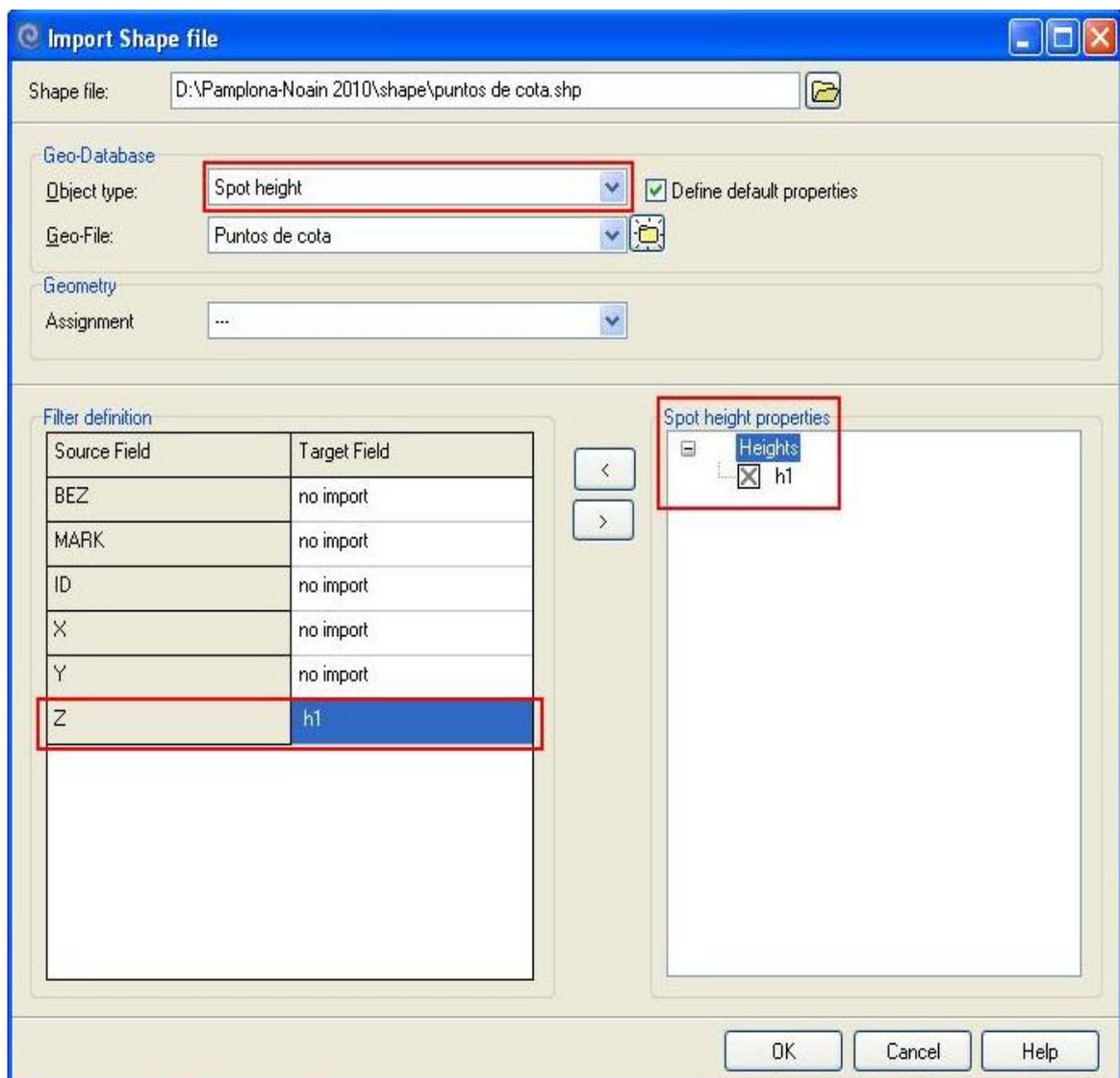


Figura 58: Creación del DGM. Shapefile

Una vez hecho lo anterior se cargará en el Geo-Database los *puntos de cota* (Figura 59). Los *puntos de cota* se presentan en color rojo y cada punto tiene una altura definida. Finalmente la *situación* se guarda y se procede a calcular el DGM.

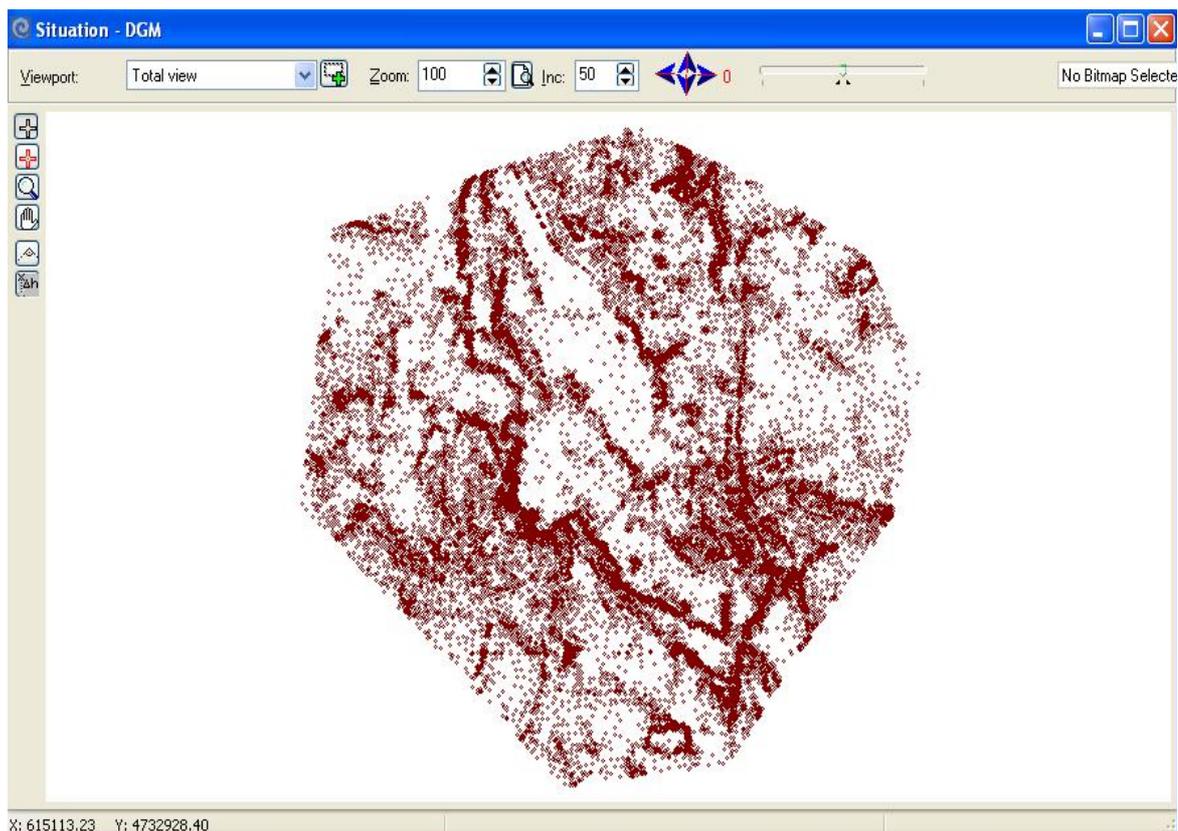


Figura 59: Creación del DGM. Puntos de cota

- **DGM**

El modelo digital del terreno se crea en el módulo de cálculo (*Calculation*), para ello se crea un nuevo cálculo y se modifican sus propiedades (Figura 60):

- **Calculation Type:**

Geometry → Digital Ground Model.

- **Data:**

Se carga la *situación* anteriormente creada.

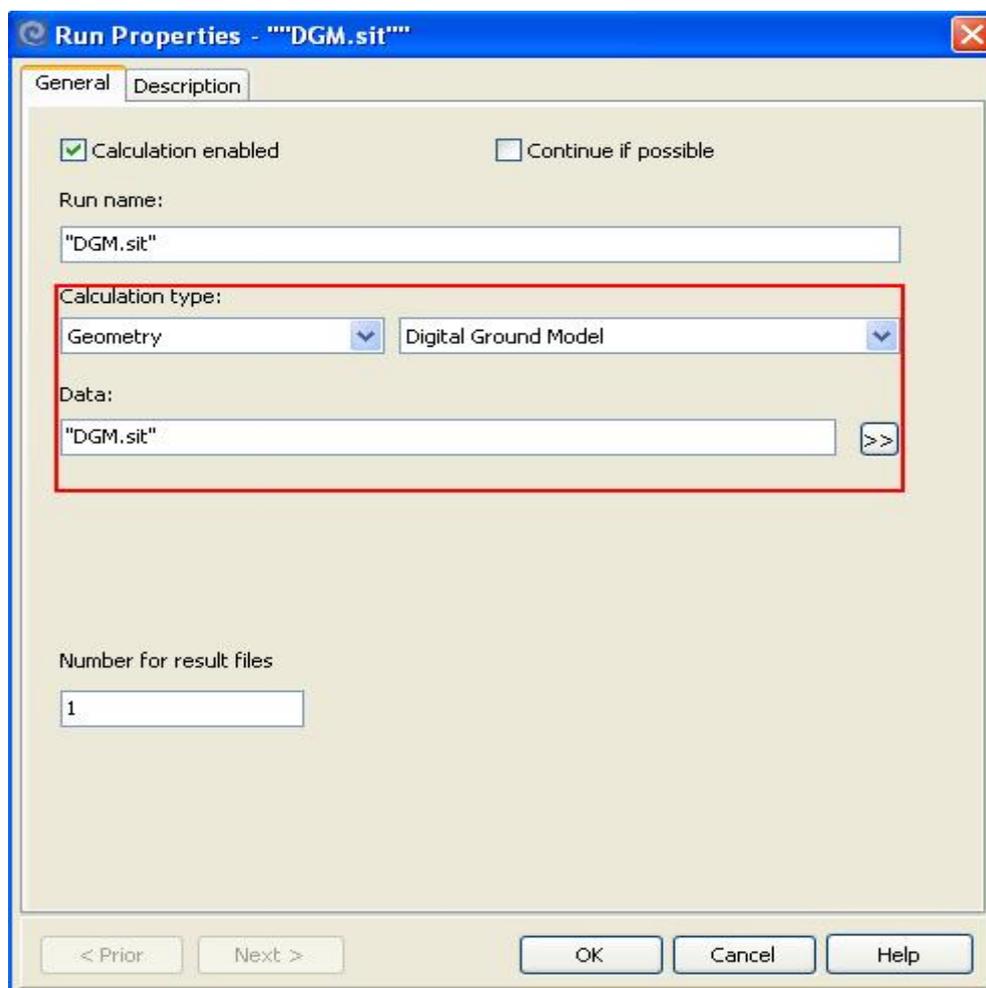


Figura 60: Cálculo del DGM

- **Colocación de edificios en el DGM**

Este proceso se realiza en módulo GEO-Database. Antes de importar los edificios se debe cargar el DGM anteriormente calculado. Para ello se debe hacer lo siguiente: *Fundamentals* → *DGM* → *Load*, desde allí se carga el DGM. Se puede observar como se ha hecho la triangulación en *View* → *DGM triangles*.

Los edificios al igual que los puntos de cota se encuentran en una base de datos topográfica, para exportar los edificios se hace lo siguiente: *File* → *Import* → *ESRI Shape file*, donde habrá que definir los siguientes parámetros (Figura 61):

- **Object type:**

Hay que seleccionar *Building*.

- **Filters definition:**

Hay que seleccionar la propiedad HA y en *Arcade Attributes* habilitar el atributo *Height*. De esta forma se importan los edificios con sus respectivas alturas.

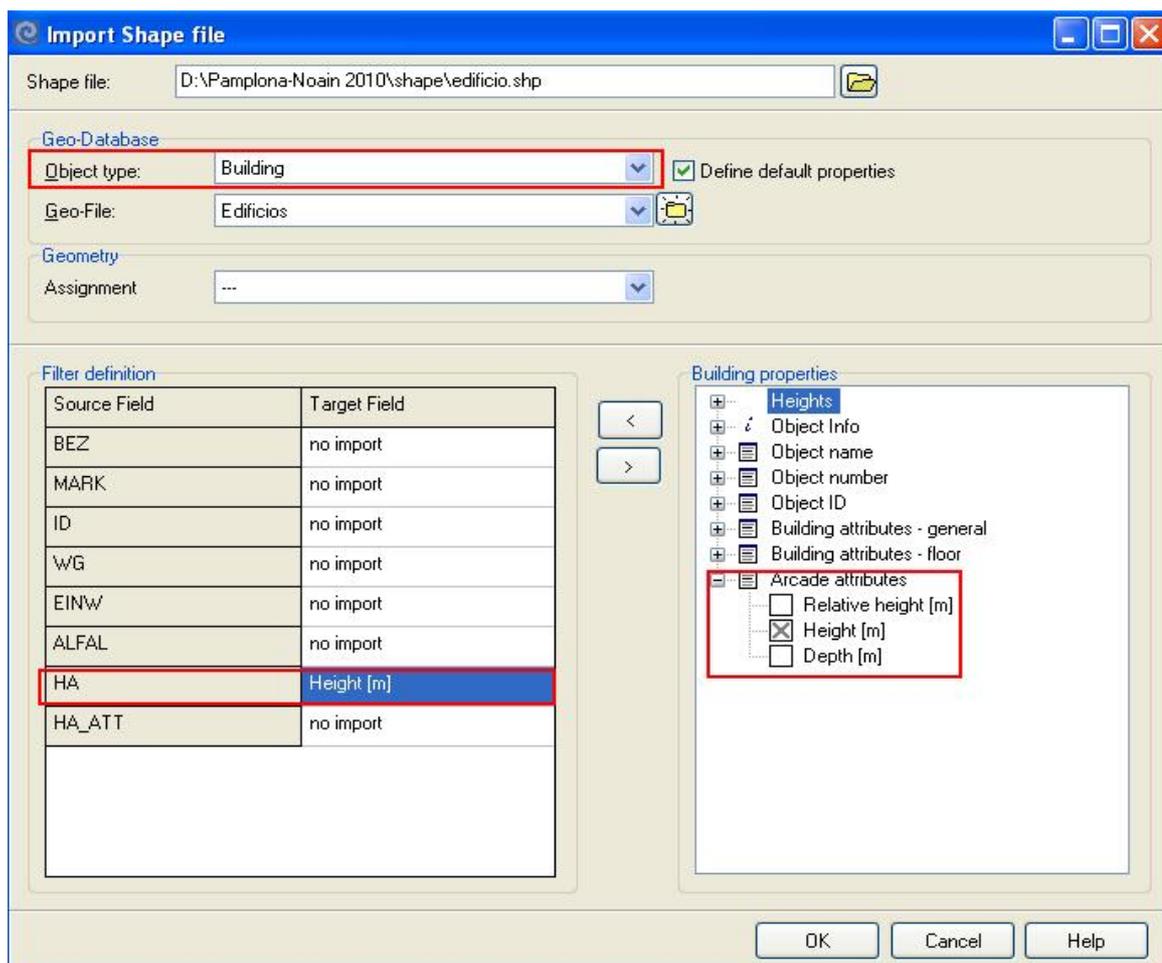


Figura 61: Edificios en el DGM

Es conveniente exportar los edificios en otra capa diferente a la de los *puntos de cota*. Una vez exportados los edificios estos no se encuentran a la misma altura que el DGM, para ello habrá que hacer lo siguiente:

- Deshabilitar la capa de puntos de cota, es decir, que solo aparezca la capa de edificios.
- Seleccionar todos los objetos de la capa de edificios (ctrl+A).
- Haciendo click con el botón derecho del ratón seleccionar *Coordinate operation* (Figura 62):

en Value z1,z2 realizar la siguiente operación:  
Operation: =DGM.



Figura 62: Operación de coordenadas

El resultado final (Figura 63) son los edificios sobre el DGM y los puntos de cota.

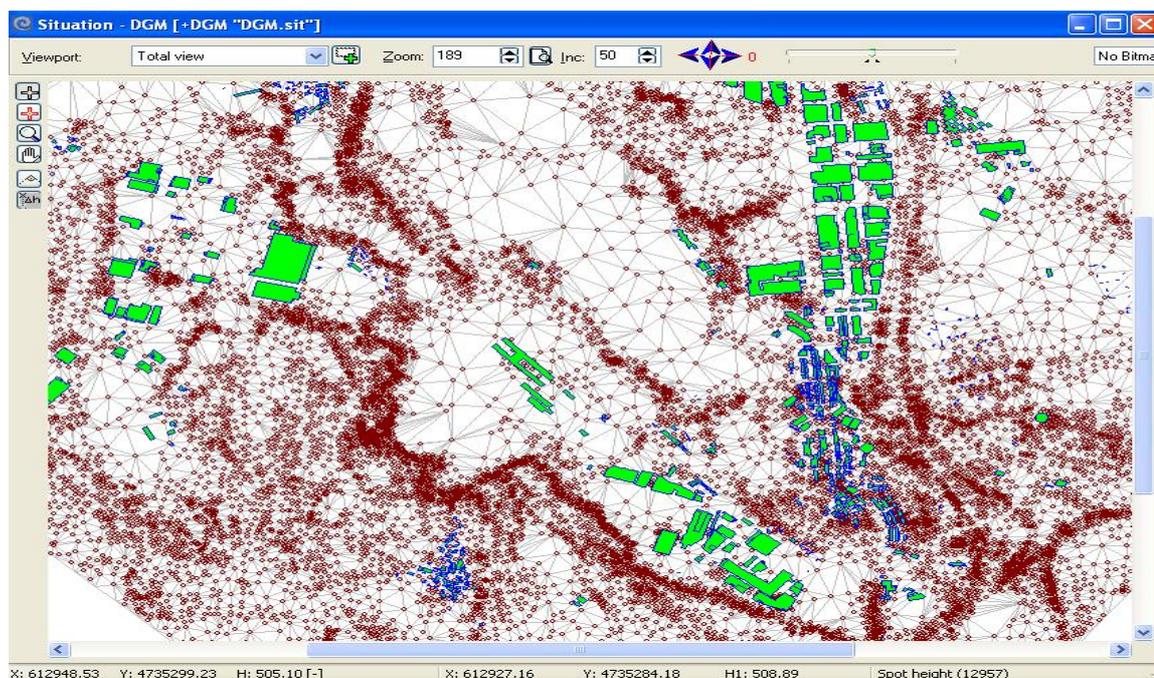


Figura 63: DGM y edificios

### 3.6. Resultados y Gráficos

Los resultados para los cálculos de receptores puntuales y mallas se pueden ver en los módulos *Result Tables* y *Graphics*. El módulo de cálculos (*Calculation*) genera los archivos donde se encuentran los resultados, estos archivos son del tipo .res y son los que utilizan los módulos *Result Tables* y *Graphics* para mostrar los diferentes resultados. Los archivos de resultados tienen un formato específico para cada tipo de cálculo, en el caso de ruido de aeronaves se tienen:

- RANSxxxx.res: *Result Aircraft Noise Single Point*.

Resultado para un receptor o receptores puntuales.

- RANGxxxx.res: *Result Aircraft Noise Grid Noise Map*.

Resultado para una malla de receptores.

- RDGMxxxx.res: *Result Digital Ground Model*.

Resultado de un modelo digital del terreno.

El campo xxxx indica el número del resultado, se permite un valor de hasta 4 cifras.

#### 3.6.1. Módulo *Result Tables*

Los resultados para los cálculos de receptores puntuales (*Single Point*) se observan en el módulo *Result Tables*. Al entrar al módulo saldrá una ventana *Open file* donde se cargará el resultado deseado, también se pueden cargar varios resultados simultáneamente. En la pestaña *Run Info* se pueden ver las descripciones generales del cálculo, entre ellas: el estándar y el índice utilizado, el número del resultado y la situación GEO.

Los resultados generales se muestran en la pestaña *Single Receiver*. La tabla mostrada depende del estándar utilizado pero siempre estarán los campos: Lden o Leq, Ld, Ln, Le y Lmax. Los datos específicos del resultado se muestran en la pestaña *Details + Graphics* donde los datos se reparten en tres subpestañas:

- **ANC:**

Muestra los datos de los niveles de presión sonora en cada trayecto y para cada clase de avión. También, se pueden observar los datos geométricos utilizados por el programa. Los datos aquí mostrados dependen del estándar elegido.

- **Maximum Level Statics:**

Aquí se muestran los niveles máximos de cada trayecto para cada clase de avión, el nivel medio Lmax y los niveles máximos que han superado un cierto umbral.

- **Diagrams:**

En esta pestaña se pueden ver los gráficos del nivel de presión sonora máxima: se representa el número de eventos con respecto al valor del nivel de presión máxima.

Por último en la pestaña *Airport Definition* se puede observar un resumen de todos los datos utilizados por el programa para realizar los cálculos. En algunos casos los datos mostrados en las pestañas *Single Receiver* y *Detail + Graphics* no son todos aquellos datos que el programa ha calculado o incluso se muestran campos redundantes. Para configurar la tabla y mostrar solo aquellos datos que interese se debe hacer click en *Edit Table Format* o hacer *Table* → *Table Format*.

### 3.6.2. Módulo Graphics

En este módulo se muestran las mallas calculadas (Grid Noise Map) demás archivos .geo que contengan información del terreno donde se ha hecho el cálculo. Se pueden cargar tanto los ficheros .geo como los resultados de las mallas simultáneamente (Figura 64).

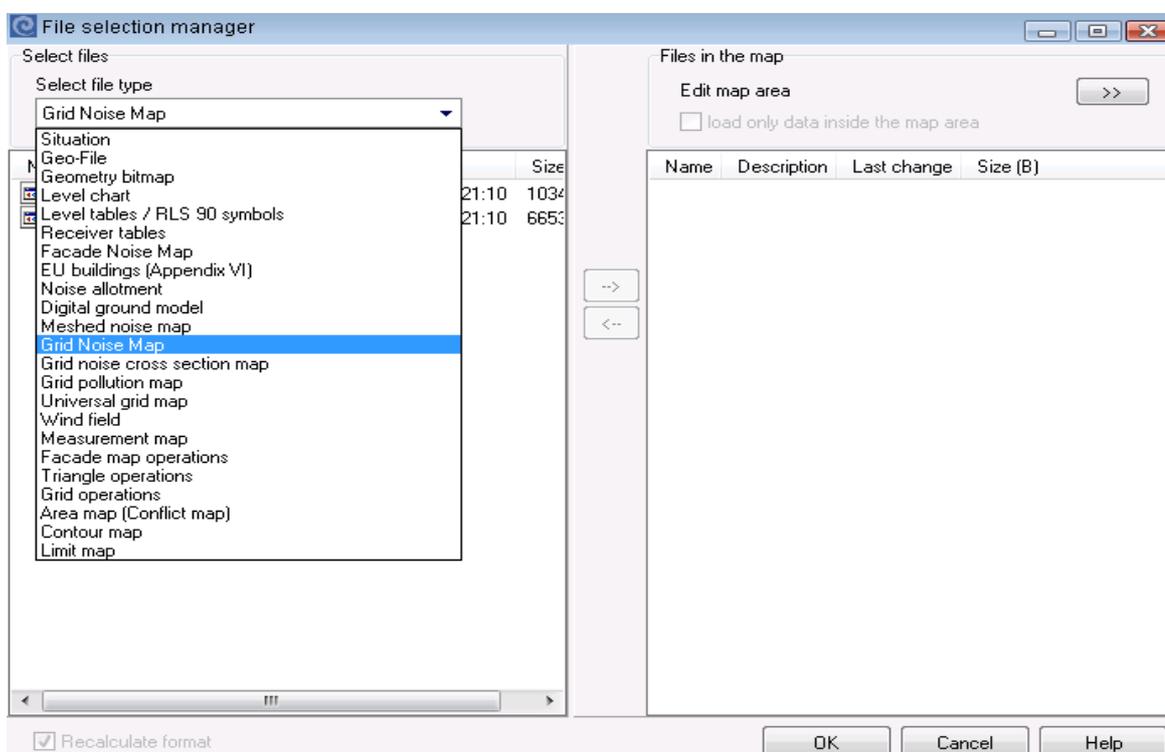


Figura 64: Módulo de gráficos

Al cargar el resultado de la malla se puede seleccionar el valor mostrado en el gráfico. Esto se realiza en la ventana Grid Noise Map (Figura 65) que se abre justo al seleccionar el resultado de la malla. En Value se escoge el índice deseado, se puede elegir el Lden, Ld, Ln, etc. Los valores a elegir dependen del estándar utilizado. En colored scale se configuran los colores de la malla y los límites en decibelios de cada color.

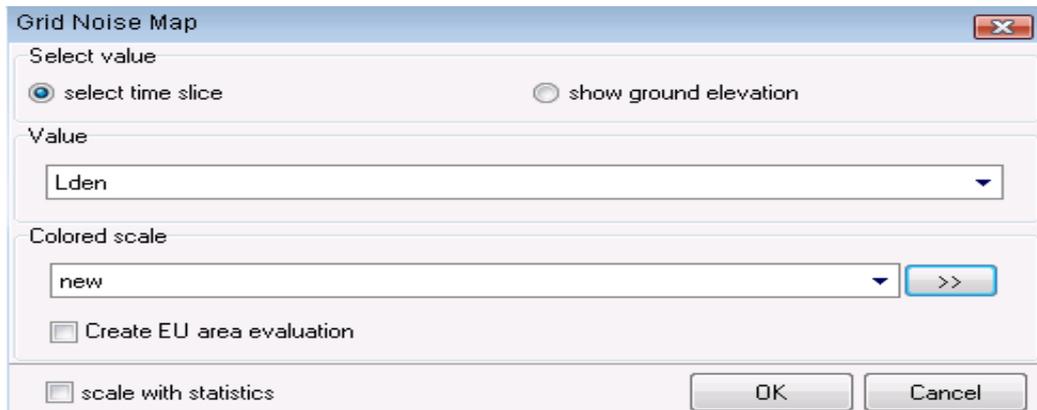


Figura 65: Módulo de gráficos. Características de la malla

Una vez que se haya cargado la malla se puede ajustar el tamaño de la misma sin tener que usar el botón de zoom. Para ello hay que hacer doble click en la imagen y saldrá la ventana Edit Map, luego se hace click en el botón derecho sobre la imagen, se selecciona Change Geometry Viewport y con la rueda del ratón se puede centrar la imagen a la ventana. Finalmente se le da a OK y se vuelve a la ventana principal del módulo de gráficos.

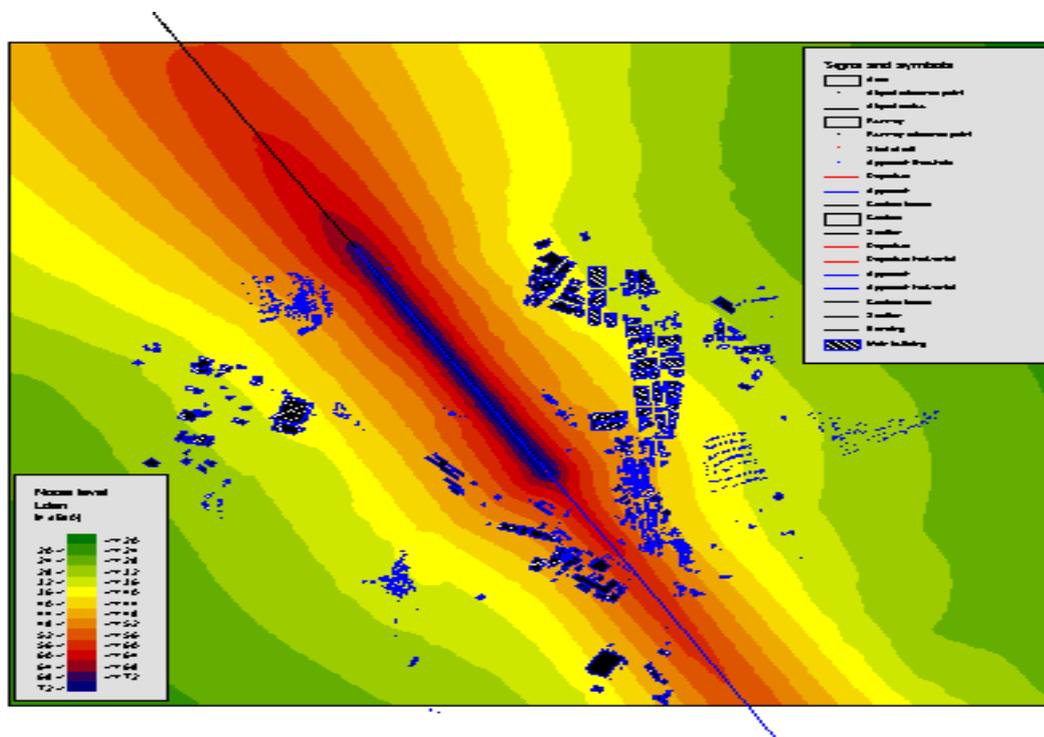


Figura 66: Módulo de gráficos. Resultado final



Cuando se tenga la imagen centrada (Figura 66) se pueden cambiar las propiedades de los elementos que componen la imagen haciendo click con el botón derecho y seleccionando Map Object Types.

- **Procedimiento para exportar los valores de la malla:**

Los valores de cada receptor de la malla se pueden exportar para poder utilizarlos en otros programas o para guardarlos en una base de datos. Para exportar los valores se debe hacer doble click en la imagen e ir a la ventana Edit Map, luego habrá que hacer Edit → Export of grid values. Se pueden exportar los valores a cuatro tipos de archivos diferentes:

- ASCII (.txt)
- AutoCAD (.dxf)
- ESRI shape file (.shp)
- ESRI ASCIIGRID (.asc)



#### **4. Análisis comparativo entre resultados experimentales de afección y predichos para el Aeropuerto de Pamplona. Elaboración del mapa de ruido del aeropuerto de pamplona.**

Tal y como se ha comentado anteriormente, la Directiva Europea 2002/49/CE establece la obligatoriedad de la evaluación y gestión del ruido medio ambiental generado por grandes infraestructuras aeroportuarias. Asimismo, se ha de tener en consideración la Ley de Ruido del 17 de noviembre de 2003 y los Reales Decretos: RD 1513/2005 y RD 1367/2007.

Aunque el Aeropuerto de Pamplona no está considerada como una gran infraestructura aeroportuaria tiene zonas residenciales lo suficientemente cerca como para crear una considerable exposición al ruido. Además, se ha de tener en cuenta el proyecto de ampliación del aeropuerto que supondrá un aumento del tráfico aéreo de la zona. Es por ello que la evaluación y gestión del impacto acústico del Aeropuerto de Pamplona es necesaria y recomendable para cumplir con las leyes y decretos antes mencionados.

El Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona se ha calculado con el programa SoundPlan, éste implementa el modelo alemán AzB pero realiza una aproximación de los cálculos para aplicar el método descrito por el modelo recomendado por la Directiva Europea 2002/49/CE: ECAC.CEAC Doc 29 “Informe sobre el método estándar de cálculo de niveles de ruido en el entorno de aeropuertos civiles”.

El Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona realizado por AENA<sup>14</sup> con datos del año 2005 mediante el programa INM será utilizado para compararlo con el mapa de ruido simulado con el programa SoundPlan. Además, se tendrán en

<sup>14</sup> Aeropuertos Españoles y Navegación Aérea.

cuenta las medidas experimentales realizadas entre el 25 de Mayo y 1 de Junio del año 2007 en la cabecera Sur de la pista del Aeropuerto de Pamplona. Dichas medidas fueron realizadas por el personal del Laboratorio de Acústica del Departamento de Física de la Universidad Pública de Navarra.

El estudio en cuestión se ha estructurado en cuatro partes:

- Descripción general de la zona de estudio: se analizarán las características principales de la infraestructura aeroportuaria y las zonas residenciales circundantes a ella.
- Descripción del proceso con el que se ha obtenido el Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona indicando los parámetros de entrada utilizados para la simulación. Luego se hará un análisis de los resultados obtenidos comparando dicho mapa de ruido con el proporcionado por AENA.
- Análisis comparativo entre simulaciones con datos de los años 2007 y 2009 con la simulación con datos del año 2005.
- Análisis comparativo entre las medidas experimentales realizadas en el año 2007 en la cabecera Sur de la pista y el mapa simulado con datos del año 2007.

## **4.1. Descripción general de la zona de estudio**

### **4.1.1. Características generales del Aeropuerto de Pamplona**

El Aeropuerto de Pamplona (Figura 67) se sitúa a 6 kilómetros al sur de la ciudad de Pamplona, capital de la Comunidad Foral de Navarra. La Comunidad Foral de Navarra se encuentra en España, al norte de la Península Ibérica. El

aeropuerto se encuentra en terrenos pertenecientes a los municipios de La Cendea de Galar, Noáin (Valle de Elorz) y el concejo de Esquíroz.

Se identifica a nivel nacional e internacional con los códigos IATA<sup>15</sup> e ICAO:

- Código IATA: PNA.
- Código ICAO: LEPP.

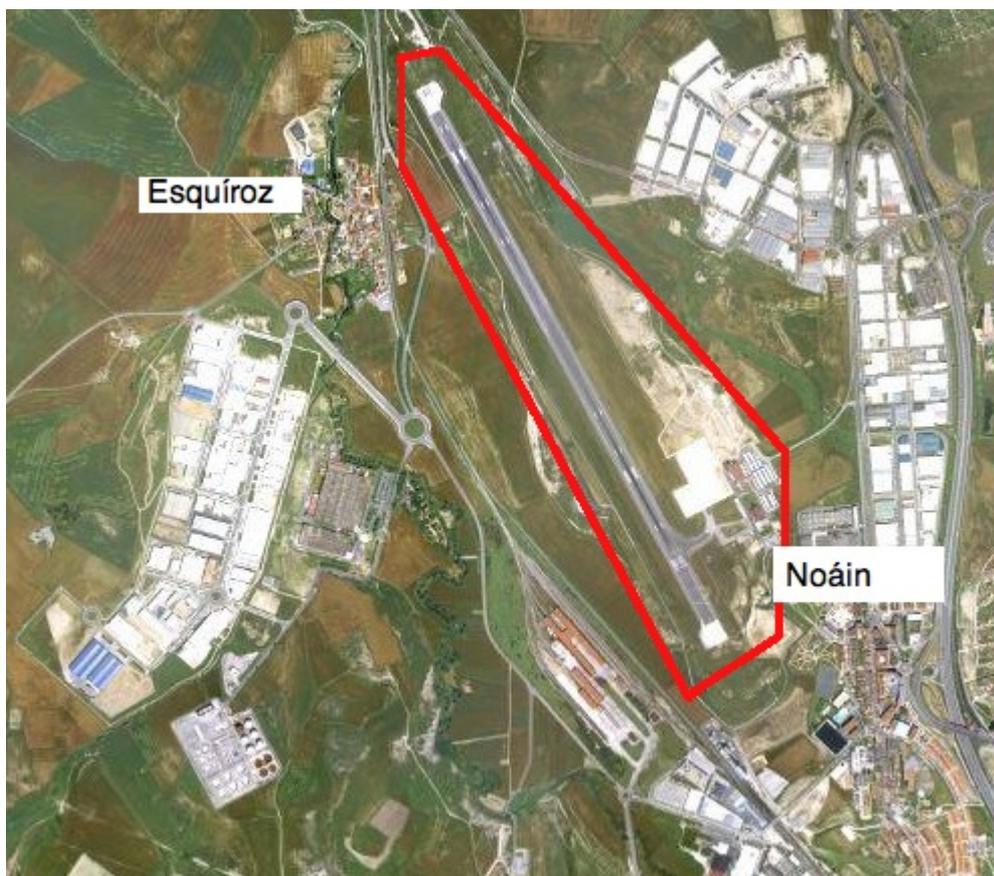


Figura 67: Aeropuerto de Pamplona

Casi la totalidad de los vuelos se reparten entre los destinos nacionales de Madrid y Barcelona, teniendo en cuenta solo las operaciones de despegue y aterrizaje de aviones comerciales. Un pequeño porcentaje de vuelos son de carácter internacional y se concentran en el destino Lisboa, Portugal.

<sup>15</sup> International Air Transport Association



Según datos proporcionados por AENA, en el año 2009 el tráfico total de pasajeros en el Aeropuerto de Pamplona fue de 335.612 pasajeros. En ese mismo año el número total de operaciones (llegadas/salidas) fue de 11.690 operaciones, dando una media de unas 32 operaciones diarias.

En el mes de diciembre de 2006, AENA autorizó la contratación de la ampliación de la pista en el Aeropuerto de Pamplona, además de una reforma general del aeropuerto. La finalización del proyecto está prevista para finales del año 2010. El proyecto de ampliación comprende lo siguiente:

- Prolongación de la pista en 200 m por la cabecera 33 (Sur). La pista tendrá una longitud total de 2.407 metros.
- Ampliación de la plataforma de estacionamiento de aeronaves. Se ampliará en unos 8.000 m<sup>2</sup> por el lado norte y supone la creación de dos nuevos puestos de estacionamiento en la plataforma.
- Construcción de una nueva plataforma de viraje en pista, en la cabecera 33. Esta plataforma se diseñará para aeronaves tipo Boeing 757 y MD 88.
- Construcción de una nueva torre de control de 30 metros de altura.
- Construcción de un nuevo área terminal de una superficie total de unos 11.500 m<sup>2</sup>. El edificio estará distribuido en cuatro niveles: planta sótano, baja, primera y segunda. También se ampliará las zonas de aparcamiento.

Las zonas residenciales más cercanas al aeropuerto son las aglomeraciones de Noáin y Esquíroz. A continuación se presenta una pequeña descripción de dichas zonas:

- **Noáin**

Municipio de la Comunidad Foral de Navarra, situado en la merindad de Sangüesa, en la cuenca de Pamplona y a 5 km al sur de Pamplona. Según datos del año 2009 su población era de 6.806 habitantes.



*Figura 68: Municipio de Noáin*

- **Esquíroz**

Concejo de la Comunidad Foral de Navarra perteneciente al municipio de la Cendea de Galar, situado en Cuenca de Pamplona, en la ribera del río Elorz y a unos 4 km de Pamplona. Según datos de el año 2006 contaba con 388 habitantes.



*Figura 69: Concejo de Esquíroz*

#### 4.1.2. Descripción de las pistas del Aeropuerto de Pamplona

El Aeropuerto de Pamplona posee una pista de asfalto con dos direcciones útiles, tiene una longitud total de 2.207 metros y una anchura de 45 metros. Cuenta con dos cabeceras: Cabecera 15 (norte) y Cabecera 33 (sur). Las coordenadas geográficas del punto de referencia se encuentran sobre el eje de la pista a unos 1.105 metros de la Cabecera 15: 42° 46' 12.14" N y 001° 38' 46.79" W.

- **Cabecera 15:**
  - **Orientación:** 151° con respecto al norte geográfico.
  - **Latitud y longitud:** 42° 46' 46.35" N, 001° 39' 11.71" W.
  - **Distancia disponible para el despegue:** 2207 metros.
  - **Distancia disponible para el aterrizaje:** 2207 metros.



Figura 70: Cabecera 15

- **Cabecera 33:**
  - **Orientación:** 331° con respecto al norte geográfico.
  - **Latitud y longitud:** 42° 45' 43.33" N, 001° 38' 25.79" W.
  - **Distancia disponible para el despegue:** 2207 metros.
  - **Distancia disponible para el aterrizaje:** 1907 metros.
  - **Umbral desplazado:** 300 metros.



Figura 71: Cabecera 33

## **4.2. Mapa de Ruido del Aeropuerto de Pamplona.**

### **4.2.1. Modelo computacional de simulación**

La Directiva Europea 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental y el Real Decreto 1513/2005 establecen en su Anexo II los métodos de cálculos recomendados para el ruido de aeronaves. En dicho anexo el método de cálculo para ruido de aeronaves se refiere al documento ECAC.CEAC Doc 29 “Informe sobre el método estándar de cálculo de niveles de ruido en el entorno de aeropuertos civiles”.

El programa SoundPlan en su versión 7.0 tiene implementado el cálculo de ruido de aeronaves en conformidad con el estándar ECAC.CEAC Doc 29. El algoritmo de cálculo se basa en el estándar alemán AzB pero tiene en cuenta algunas excepciones para adaptar el cálculo al estándar ECAC.CEAC Doc 29. En el Anexo 9.1 se encuentra el algoritmo utilizado por el programa SoundPlan para realizar el cálculo de ruido de aeronaves.

### **4.2.2. Escenarios de simulación y parámetros de entrada**

Los datos que constituyen el escenario de simulación se dividen en cuatro grupos:

- Características geográficas del aeropuerto y de las pistas.
- Definición de las trayectorias para salidas y despegues de cada cabecera de la pista, así como el régimen de utilización de las pistas.
- Clases de aeronaves que componen la flota total en el escenario de simulación.
- Datos de tráfico del aeropuerto.



En las siguientes páginas se mostrará la forma como se han introducido los parámetros de entrada en el programa SoundPlan, así como la justificación de la existencia de dichos datos.

Para realizar el mapa de ruido del Aeropuerto de Pamplona y poder compararlo con el mapa de ruido proporcionado por AENA se han tomado datos del año 2005. A su vez se han hecho simulaciones para los años 2007 y 2009 adaptando la flota y los datos de tráfico a esos respectivos años.

Gran parte de los datos fueron obtenidos desde la *Información Aeronáutica (AIS)* proporcionada por AENA desde su página web. En ella se puede acceder<sup>16</sup> a la *Publicación de Información Aeronáutica (AIP)* de España.

Como se ha comentado anteriormente el estándar utilizado para el modelo de cálculo ha sido el estándar ECAC.CEAC Doc 29, de manera que el primer paso para realizar el mapa de ruido fue establecer dicho estándar en el programa SoundPlan.

#### **4.2.2.1. Características geográficas del aeropuerto y de las pistas**

Las características geográficas del aeropuerto y de las pistas definen el sistema de referencia. El sistema de referencia lo tendrá en cuenta el programa para calcular la distancia entre la aeronave y cada receptor de la malla.

Los datos geográficos proporcionados son los siguientes:

- ARP y RRP en coordenadas UTM: x:610795,190, y:4736494,050.

<sup>16</sup> Para acceder a los datos de la AIP es necesario crear una cuenta de usuario que no supondrá ningún coste económico.



- La elevación del aeropuerto se ha supuesto para el punto más alto de la pista: 458,64 metros sobre el nivel del mar.
- El ángulo de cada cabecera se ha fijado en conformidad con la orientación geográfica: 151° (Cabecera 15) / 331° (Cabecera 33).
- Ancho de la pista: 45 metros.
- La distancia para cada cabecera entre el inicio de despegue (*Start to roll*) y el RRP se ha definido teniendo en cuenta que el RRP se encuentra en el medio de la pista: 1103,5 metros.
- Distancia entre el punto de aterrizaje y el RRP: 1103,5 metros para la cabecera 15 y 803,5 metros para la cabecera 33 ya que existe un umbral de aterrizaje de 300 metros en esa cabecera.

Todos los datos anteriormente mencionadas se introdujeron en la sección donde se define el aeropuerto y las pistas (Figura 72) en el módulo de ruido de aeronaves de SoundPlan.

**2.1. Airport**

2.1.1. Name

2.1.2. Airport reference point (ARP):

Geogr. latitude and longitude [°:':"] N    E

Gauss-Krueger-Coordinates (UTM) (x)  (y)  [m]

2.1.3. Airport elevation (z)  [m] Influence radius  [m]

**2.1.4. Runways**

15 / 33

Name	<input type="text" value="15"/>	/	<input type="text" value="33"/>
Condition	<input type="text" value="Existente"/>		
Compass Angle [deg]	<input type="text" value="151,0000"/>	/	<input type="text" value="331,0000"/>
Total length [m]	<input type="text" value="2207,00"/>	Width [m]	<input type="text" value="45,00"/>
Coordinates of runway reference point (RRP) [°:':"]	N <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0,0000"/>	E <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0,0000"/>	
Distance of RRP to ARP [m]	(dx) <input type="text" value="0,00"/>	(dy) <input type="text" value="0,00"/>	
Distance of start of roll to RRP [m]	<input type="text" value="1103,50"/>	/	<input type="text" value="1103,50"/>
Distance of approach threshold to RRP [m]	<input type="text" value="1103,50"/>	/	<input type="text" value="803,50"/>
Density-1-region [m]	<input type="text" value="1500,00"/>	/	<input type="text" value="1500,00"/>
Offset of approach thresholds [m]	<input type="text" value="0,00"/>	/	<input type="text" value="0,00"/>
Meridian convergence [°:':"]	<input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0"/> <input type="text" value="0,0000"/>		

New  
Copy  
Delete

Figura 72: Datos geográficos del aeropuerto

#### 4.2.2.2. Trayectorias y régimen de utilización de las pistas

Dado que el estudio de afección se centra en un radio menor a 5 km alrededor del aeropuerto las trayectorias tanto para los despegues como para los aterrizajes se han elegido como tramos rectos de 5 km.

La justificación a esta decisión se basa en las cartas de salida y aproximación del Aeropuerto de Pamplona. Todas las trayectorias coinciden con las mencionadas cartas, excepto el tramo de salida por la cabecera 15 en el que



no se ha tenido en cuenta el Alabeo<sup>17</sup> de la aeronave entre 15° y 20° que hace que ese tramo tenga una orientación de 169°.

En ningún caso se ha definido la dispersión lateral (corredor) de los trayectos. En el caso de aterrizajes está claro que a una distancia de 5 km con respecto a la pista todas las aeronaves deben estar en perfecta alineación con el RRP, es decir, todas las aeronaves seguirán el mismo camino, por lo tanto para el caso de aterrizajes no existe la dispersión lateral. Para los despegues al no disponer de datos suficientes no se ha tenido en cuenta la dispersión lateral, aunque parece claro que en un tramo de 5 km con respecto a la pista en donde todas las aeronaves están en pleno ascenso habrán pocos virajes, lo que indica que no tener en cuenta la dispersión lateral no afectará los cálculos.

En el módulo de trayectorias de SoundPlan se han definido cuatro trayectorias:

- **Tramos de aterrizajes:**

Los tramos de aterrizajes se han denominado de la siguiente forma:

- Llegada15: Aterrizaje por la cabecera 15.
- Llegada33: Aterrizaje por la cabecera 33.

Se ha determinado un ángulo de aproximación de 3.4° para ambos trayectos, conforme a la información obtenida en *Requisitos de la base de datos aeronáutica* de la AIP del Aeropuerto de Pamplona. Este ángulo afecta a todas las clases de aeronaves.

La elevación sobre el aeropuerto se ha definido de 1100 metros y afecta a todas las clases de aeronaves. Esta elevación determina el punto a partir del cual

---

<sup>17</sup> Movimiento que realiza una aeronave a partir de su eje longitudinal formado desde la punta hasta la cola de la aeronave. El alabeo es el movimiento de giro de una aeronave.

la aeronave descenderá con un ángulo constante, en este caso de 3.4°. El valor de 1100 metros es un valor típico para el caso de un ángulo de aproximación de 3.4°.

2.2.2.1. Track name	<input type="text" value="Llegada15"/>																			
2.2.2.2. Runway (approach)	<input type="text" value="15"/>																			
2.2.2.3. Angle of approach	<input type="text" value="3,40"/>					[DEG]														
2.2.2.4. Get in lane section	Begin	<input type="text" value="5001,00"/>				[m] (before runway ref. point)														
	End	<input type="text" value="5000,00"/>				[m]														
2.2.2.5. Description of approach flight track																				
<table border="1"><thead><tr><th>Section No.</th><th>Straight on [m]</th><th>L/R</th><th>Heading change [deg]</th><th>Radius [m]</th><th>Corridor Begin [m]</th><th>-width End [m]</th></tr></thead><tbody><tr><td>1</td><td>5000,00</td><td></td><td></td><td></td><td>0,00</td><td>0,00</td></tr></tbody></table>							Section No.	Straight on [m]	L/R	Heading change [deg]	Radius [m]	Corridor Begin [m]	-width End [m]	1	5000,00				0,00	0,00
Section No.	Straight on [m]	L/R	Heading change [deg]	Radius [m]	Corridor Begin [m]	-width End [m]														
1	5000,00				0,00	0,00														
2.2.2.6. Elevation above airport	<input type="text" value="1100,00"/>						[m]													

Figura 73: Trayectoria de aterrizaje

- **Tramos de despegues:**

Los tramos de despegues se han denominado de la siguiente forma:

- Salida15: Despegue por la cabecera 15.
- Salida33: Despegue por la cabecera 33.

Se ha definido una elevación sobre el aeropuerto de 600 metros que sólo

afecta las clases de aeronaves P1.3 y P1.4. Esta elevación determina la altitud de vuelo horizontal de dichas clases. En general, las altitudes de vuelo horizontal para aeronaves de aviación general (clases P1.x) están designadas con un valor de 3500 pies (1066 metros) sobre el nivel del mar. Por lo tanto,

$1066 \text{ m} - 458 \text{ m} = 608 \text{ m}$ . Este valor se ha redondeado a 600 metros.

2.2.1.1. Track name

2.2.1.2. Runway (Departure)

2.2.1.3. Description of Departure flight track

Section No.	Straight on [m]	L/R	Heading change [deg]	Radius [m]	Corridor Begin [m]	-width End [m]
1	5000,00				0,00	0,00

2.2.1.4. Elevation above airport  [m]

Figura 74: Trayectoria de despegue

- **Régimen de utilización de las pistas:**

Al no disponer de ningún dato sobre el régimen de utilización de cada cabecera se dispuso la siguiente organización:

Cabecera	Despegues	Aterrizajes
15	50%	50%
33	50%	50%

#### 4.2.2.3. Clases de aeronaves

Los datos de la flota de aeronaves que realizaron operaciones en el Aeropuerto de Pamplona en el año 2005 se obtuvieron de la página de AENA en la sección de *Estadísticas*.

A cada aeronave se le asignó el grupo de aeronave correspondiente al estándar AzB. A continuación se muestran todos los grupos de aeronaves y la flotas que lo componen:

<b>P1.3</b>
PIPER (LIGHT AIRCRAFT-SINGLE PISTON)
PIPER (LIGHT AIRCRAFT TWIN PISTON ENGINE)
CESSNA SINGLE PISTON
BEEHCRAFT SINGLE PISTON
PIPER (LIGHT AIRCRAFT -TWIN TURBOPROP)
BEEHCRAFT TWIN PISTON
BEEHCRAFT (LIGHT AIRCRAFT)
CESSNA TWO TURBO
CESSNA (LIGHT AIRCRAFT)
PIPER (LIGHT AIRCRAFT)
<b>P1.4</b>
CESSNA LIGH AIRCRAFT-TWIN PISTON ENGINES
MITSUBISHI MU2
<b>P2.1</b>
DE HAVILLAND DHC-8 DASH 8-300
AEROSPATIALE ATR-72
SAAB 2000
SAAB SF 340A 340B
FOKKER F50
FAIRCHILD METRO MERLIN EXPEDITER
BEEHCRAFT 1900D AIRLINER
BEEHCRAFT TWIN TURBOPROP
FAIRCHILD DORNIER 228
CASA IPTN CN235
ANTONOV AN-26 30 32
ATR 42-300 320
AEROSPATIALE ATR-42-500
BEEHCRAFT 1900 1900C AIRLINER
FAIRCHILD DORNIER 328
FOKKER F27FRIENDSHIP FAIRCHILD IND.F-27

<b>S5.1</b>
CANADAIR REGIONAL JET 200
CESSNA CITATION
DASSAULT (B.M) FALCON 50 900
DASSAULT (B.M.)FALCON 10 20 100 200 2000
LEARJET
BRITSH AEROS. (HAWKER SIDDELEY)125
CANADAIR REGIONAL JET
CANADAIR CHALLENGER
EMBRAER EMB-120 BRASILIA
EMBRAER RJ145
FOKKER 100
GULFSTREAM AEROSP.G-1159 II III IV V
DASSAULT (BREGUET MYSTERE)FALCON
GULFSTREAM (AERO) COMMANDER
<b>S5.2</b>
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER
AIRBUS A320
BOEING 737 800 PASSENGERS
BOEING B737-300 PASSENGERS
AIRBUS A321
BOEING B757 200 PASSENGERS
AIRBUS A319
BOEING B737 600 PASSENGERS
BOEING 737-700 PASSENGERS
BOEING B737 400 PASSENGERS
<b>S5.3</b>
MCDONNELL DOUGLAS MD88
MCDONNELL DOUGLAS MD87
MCDONNELL DOUGLAS MD83

Las clases de aeronaves con la letra P pertenecen al grupo de aeronaves con motor de tipo hélice y las clases designadas con la letra S pertenecen al grupo de aeronaves con motor de reacción.

En el programa SoundPlan se agregaron dichos grupos desde la librería *AzB1975/ÖAL24* (Figura 75).

###	Element name
22	A-P 1.4 - Dep
23	A-P 1.4 - Arr
24	A-S 5.1 - Dep
25	A-S 5.1 - Arr
30	A-P 2.1 - Dep
31	A-P 2.1 - Arr
36	A-S 5.3 - Dep
37	A-S 5.3 - Arr
40	A-P 1.3 b - Dep tow
41	A-P 1.3 b - Arr
42	A-S 5.2 - Dep
43	A-S 5.2 - Arr

Search:

Figura 75: Clases de aeronaves

#### 4.2.2.4. Datos de tráfico

Los datos de tráfico para cada tipo de aeronave que realizó operaciones de llegada y salida en el Aeropuerto de Pamplona en el año 2005 se han obtenido de la página web de AENA, específicamente en la sección de *Estadísticas*.

Desde la página se han observado los datos de la operación de *Llegada* y se han supuesto los mismos números para la operación de *Salida*.

El número de vuelos de cada tipo de aeronave en el año (2005) se ha transformada a vuelos en medio año (180 días), ya que en SoundPlan el número de eventos que identifica el tráfico aéreo debe ser ingresado en número de vuelos o eventos cada 180 días. La no disposición de los datos operacionales diarios de cada tipo de aeronave ha obligado a repartir el número de eventos de la siguiente forma:



	Día (7-19 horas)	Tarde (19-23 horas)	Noche (23-7 horas)
Llegadas/Salidas	70 %	20 %	10 %

Se ha llegado a dicha conclusión observando desde la página web de AENA, en su sección de información de vuelos en tiempo real, diversos días del mes de Julio de 2010. Desde allí se obtuvo la proporción diaria de las operaciones de vuelo y se ha supuesto que esa misma proporción afectaba al año 2005.

El número de eventos para cada periodo del día se ha calculado con la siguiente fórmula:

$n = (\text{n}^\circ \text{eventos\_semestrales}) \times (\% \text{op\_diaria}) \times (\text{factor\_régimen\_pistas}) / 100$ ,  
este valor se redondea al entero más próximo.

Por ejemplo, si hay 412 eventos semestrales y se quiere calcular el número de eventos en el período de día se hace lo siguiente:

$n = 412 \times 70 \times 0.5 / 100 = 144.2$ , con el redondeo se obtienen 144 eventos semestrales en el período de día.

A continuación se mostrarán las tablas que resumen el número de vuelos de cada tipo de aeronave en el año 2005, así como los datos tráficos semestrales para cada grupo de aeronave y para cada tipo de operación en las respectivas cabeceras.

<b>P1.3</b>	<b>Anual</b>
PIPER (LIGHT AIRCRAFT-SINGLE PISTON)	455
PIPER (LIGHT AIRCRAFT TWIN PISTON ENGIN)	19
CESSNA SINGLE PISTON	306
BEEHCRAFT SINGLE PISTON	20
PIPER (LIGHT AIRCRAFT -TWIN TURBOPROP)	9
BEEHCRAFT TWIN PISTON	5
BEEHCRAFT (LIGHT AIRCRAFT)	4
CESSNA TWO TURBO	3
CESSNA (LIGHT AIRCRAFT)	1
PIPER (LIGHT AIRCRAFT)	1

<b>P1.3</b>		<b>Llegadas15</b>			<b>Llegadas33</b>		
<b>Anual</b>	<b>180 dias</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>
823	412	144	41	21	144	41	21
		<b>Salidas15</b>			<b>Salidas33</b>		
		<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>
		144	41	21	144	41	21

<b>P1.4</b>	<b>Anual</b>
CESSNA LIGH AIRCRAFT-TWIN PISTON ENGINES	35
MITSUBISHI MU2	5

<b>P1.4</b>		<b>Llegadas15</b>			<b>Llegadas33</b>		
<b>Anual</b>	<b>180 dias</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>
40	20	7	2	1	7	2	1
		<b>Salidas15</b>			<b>Salidas33</b>		
		<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>
		7	2	1	7	2	1

<b>P2.1</b>	<b>Anual</b>
DE HAVILLAND DHC-8 DASH 8-300	1323
AEROSPATIALE ATR-72	923
SAAB 2000	99
SAAB SF 340A 340B	31
FOKKER F50	390
FAIRCHILD METRO MERLIN EXPEDITER	40
BEECHCRAFT 1900D AIRLINER	17
BEECHCRAFT TWIN TURBOPROP	26
FAIRCHILD DORNIER 228	12
CASA IPTN CN235	9
ANTONOV AN-26 30 32	2
ATR 42-300 320	2
AEROSPATIALE ATR-42-500	1
BEECHCRAFT 1900 1900C AIRLINER	1
FAIRCHILD DORNIER 328	1
FOKKER F27FRIENDSHIP FAIRCHILD IND.F-27	1

<b>P2.1</b>		<b>Llegadas15</b>			<b>Llegadas33</b>		
<b>Anual</b>	<b>180 dias</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>
2878	1439	504	144	72	504	144	72
		<b>Salidas15</b>			<b>Salidas33</b>		
		<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>	<b>Dia</b>	<b>Tarde</b>	<b>Noche</b>
		504	144	72	504	144	72

<b>S5.1</b>	<b>Anual</b>
CANADAIR REGIONAL JET 200	100
CESSNA CITATION	65
DASSAULT (B.M) FALCON 50 900	20
DASSAULT (B.M.)FALCON 10 20 100 200 2000	16
LEARJET	13
BRITISH AEROS. (HAWKER SIDDELEY)125	7
CANADAIR REGIONAL JET	7
CANADAIR CHALLENGER	4
EMBRAER EMB-120 BRASILIA	6
EMBRAER RJ145	3
FOKKER 100	3
GULFSTREAM AEROSP.G-1159 II III IV V	3
DASSAULT (BREGUET MYSTERE)FALCON	1
GULFSTREAM (AERO) COMMANDER	1

S5.1		Llegadas15			Llegadas33		
Anual	180 días	Dia	Tarde	Noche	Dia	Tarde	Noche
249	125	44	13	6	44	13	6
		Salidas15			Salidas33		
		Dia	Tarde	Noche	Dia	Tarde	Noche
		44	13	6	44	13	6

S5.2	Anual
BOEING 737-800 (WINGLETS) PASSENGER	15
AIRBUS A320	7
BOEING 737 800 PASSENGERS	7
BOEING B737-300 PASSENGERS	7
AIRBUS A321	5
BOEING B757 200 PASSENGERS	5
AIRBUS A319	4
BOEING B737 600 PASSENGERS	3
BOEING 737-700 PASSENGERS	1
BOEING B737 400 PASSENGERS	1

S5.2		Llegadas15			Llegadas33		
Anual	180 días	Dia	Tarde	Noche	Dia	Tarde	Noche
55	28	10	3	1	10	3	1
		Salidas15			Salidas33		
		Dia	Tarde	Noche	Dia	Tarde	Noche
		10	3	1	10	3	1

S5.3	Anual
MCDONNELL DOUGLAS MD88	573
MCDONNELL DOUGLAS MD87	126
MCDONNELL DOUGLAS MD83	6

S5.3		Llegadas15			Llegadas33		
Anual	180 días	Dia	Tarde	Noche	Dia	Tarde	Noche
705	353	124	35	18	124	35	18
		Salidas15			Salidas33		
		Dia	Tarde	Noche	Dia	Tarde	Noche
		124	35	18	124	35	18

Todos los datos mostrados se han ingresado en el módulo *Data Traffic* de SoundPlan.

Aircraft classes			Day	Evening	Night	Nmax (max h)
A-P 1.4	Approach	A-P 1.4 - Arr	7	2	1	0
A-S 5.1	Approach	A-S 5.1 - Arr	44	13	6	0
A-P 2.1	Approach	A-P 2.1 - Arr	504	144	72	0
A-S 5.3	Approach	A-S 5.3 - Arr	124	35	18	0
A-P 1.3 b	Approach	A-P 1.3 b - Arr	144	41	21	0
A-S 5.2	Approach	A-S 5.2 - Arr	10	3	1	0

Figura 76: Datos de tráfico. Aterrizajes

Aircraft classes			Day	Evening	Night	Nmax (max h)
A-P 1.4	Departure	A-P 1.4 - Dep	7	2	1	0
A-S 5.1	Departure	A-S 5.1 - Dep	44	13	6	0
A-P 2.1	Departure	A-P 2.1 - Dep	504	144	72	0
A-S 5.3	Departure	A-S 5.3 - Dep	124	35	18	0
A-P 1.3 b	Take-Off, Mass b	A-P 1.3 b - Dep tow	144	41	21	0
A-S 5.2	Departure	A-S 5.2 - Dep	10	3	1	0

Figura 77: Datos de tráfico. Despegues

#### 4.2.2.5. Modelo digital del terreno y situación de cálculo

Para realizar los cálculos de los niveles de inmisión el programa SoundPlan necesita un modelo digital del terreno (DGM) para poder determinar las distancias entre la aeronave y los distintos receptores. El modelo digital del terreno se calculó a partir de un archivo *shapefile* que contenía los puntos de cota de la zona de estudio. Dicho archivo fue proporcionado por el personal del Laboratorio de Acústica del Departamento de Física de la Universidad Pública de Navarra.

La situación de cálculo se ha creado en el módulo GEO-Database. Dicha situación está conformada por:

- Posición del aeropuerto y los umbrales de aterrizaje y despegue.
- Trayectorias de despegue y aterrizaje de todos los eventos.
- Edificios de las zonas cercanas al aeropuerto. Los edificios no se tienen en cuenta en los cálculos. Solo se muestran para ver el efecto de las isófonas sobre las poblaciones cercanas.
- Área de cálculo donde se encuentran el aeropuerto y las zonas adyacentes. El área de cálculo determina la malla (grid) para realizar el mapa de ruido. Su dimensión es de aproximadamente 5700 x 5800 metros (alto x largo).

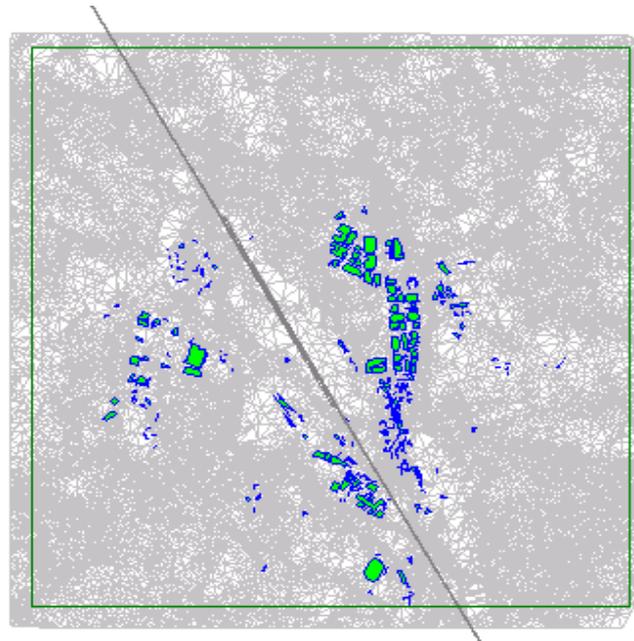


Figura 78: Situación de cálculo

### 4.2.3. Índices de ruido

Según el artículo 5 del Real Decreto 1513/2005 se aplicarán los índices  $L_{den}$  y  $L_n$  para la preparación del mapa de ruido del Aeropuerto de Pamplona. Mediante estos índices se podrá evaluar de una manera cualitativa el grado de molestia en las zonas afectadas por el ruido de aeronaves.

El nivel día-tarde-noche se calcula en decibelios (dB) mediante la siguiente

fórmula:

$$L_{den} = 10 \cdot \log \frac{1}{24} \cdot \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{dia}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{tarde+5}}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{noche+10}}{10}} \right)$$

El nivel  $L_{dia}$  se define como el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A determinado para todos los períodos diurnos de un año. Se corresponde con el nivel continuo equivalente expresado en dBA para el período de 12 horas comprendido entre las 7:00 y las 19:00 horas para todo un año.

El nivel  $L_{tarde}$  se define como el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A determinado para todos los períodos de tarde de un año. Se corresponde con el nivel continuo equivalente expresado en dBA para el período de 4 horas comprendido entre las 19:00 y las 23:00 horas para todo un año.

El nivel  $L_{noche}$  se define como el nivel sonoro medio a largo plazo ponderado A determinado para todos los períodos nocturnos de un año. Se corresponde con el nivel continuo equivalente expresado en dBA para el período de 8 horas comprendido entre las 23:00 y las 7:00 horas para todo un año.

#### **4.2.4. Resultados**

Una vez ingresado todos los parámetros de entrada en SoundPlan se ha procedido a calcular el mapa de ruido del Aeropuerto de Pamplona utilizando el módulo *Calculation*.

##### **4.2.4.1. Configuración de la malla (Grid) y altura del receptor**

Tal y como indica la Directiva Europea se estableció la altura de cada receptor a 4 metros sobre el nivel del suelo. La distancia entre cada receptor (*Grid*

Space) se configuró en 50 metros. Esto quiere decir que el cálculo se ha hecho sobre una malla compuesta por una cuadrícula cuyos elementos son de tamaño 50 x 50 metros. Los niveles de inmisión se han calculado sobre el punto central de cada elemento de la cuadrícula sin habilitar la posibilidad a la interpolación.

○ Recalculate Grid Noise Map

Recalculation area  >>

● Calculate new Grid Noise Map

Grid space [m]  Height above ground [m]

Grid Interpolation

Min/Max[dB]  Difference[dB]  Field size

Figura 79: Configuración de la malla (Grid)

#### 4.2.4.2. Mapas de ruido del Aeropuerto de Pamplona

A continuación se hará una comparación entre los mapas de ruido obtenidos en la simulación con los proporcionados por AENA. Hay que tener en cuenta que la única información que se tiene de los mapas proporcionados por AENA es que han sido publicados en el año 2006 y que para su realización han tomado datos del año 2005. La organización y disposición de los parámetros de



entrada se desconocen en su totalidad.

En primera instancia se mostrarán todos los mapas con sus respectivas escalas, luego se seleccionaran aquellas zonas de interés para la comparación.

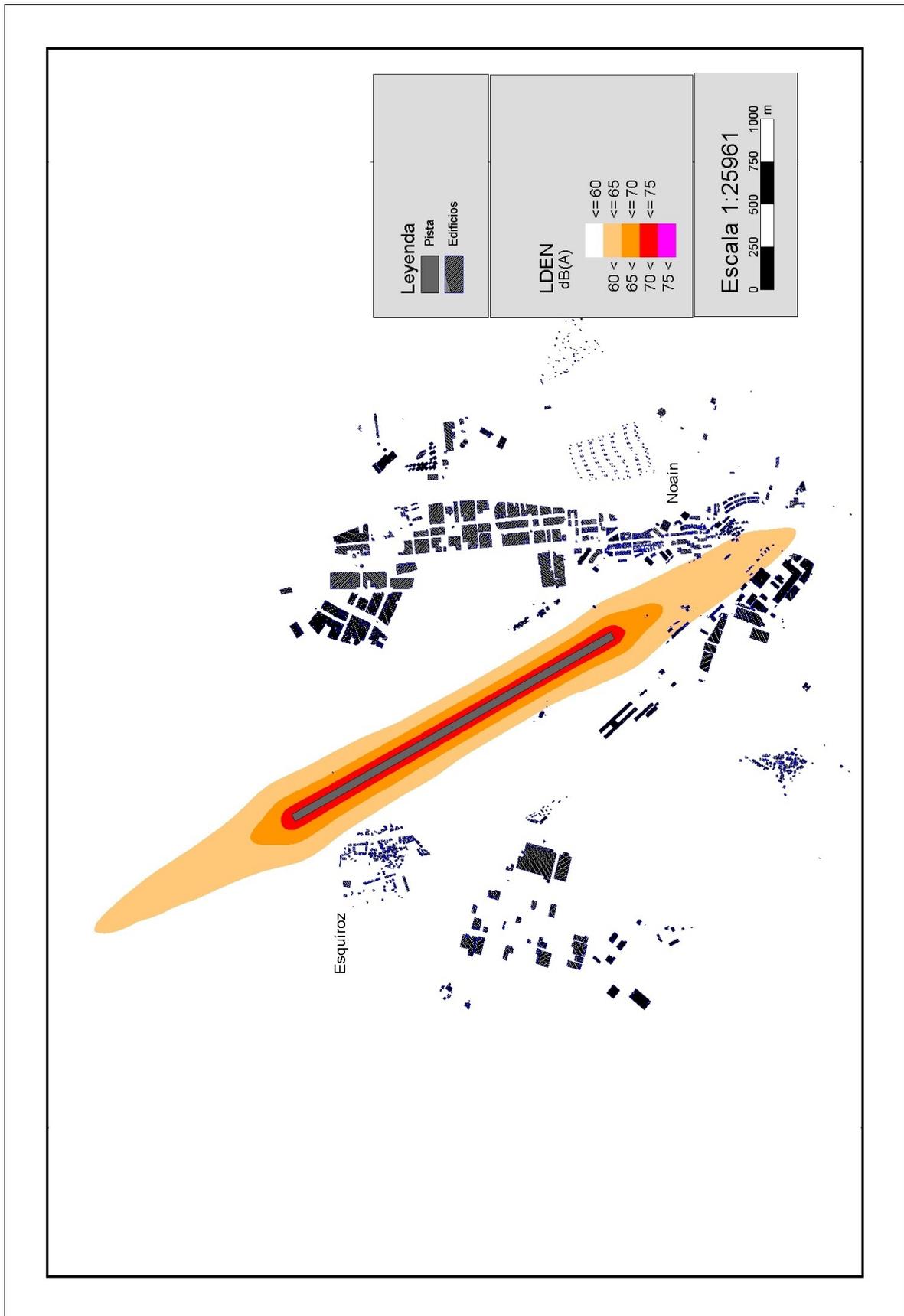
Las zonas que se han elegido para comparar dichos mapas han sido las cabeceras de la pista debido a que en esa zona se encuentra el municipio de Noaín y el Concejo de Esquíroz.

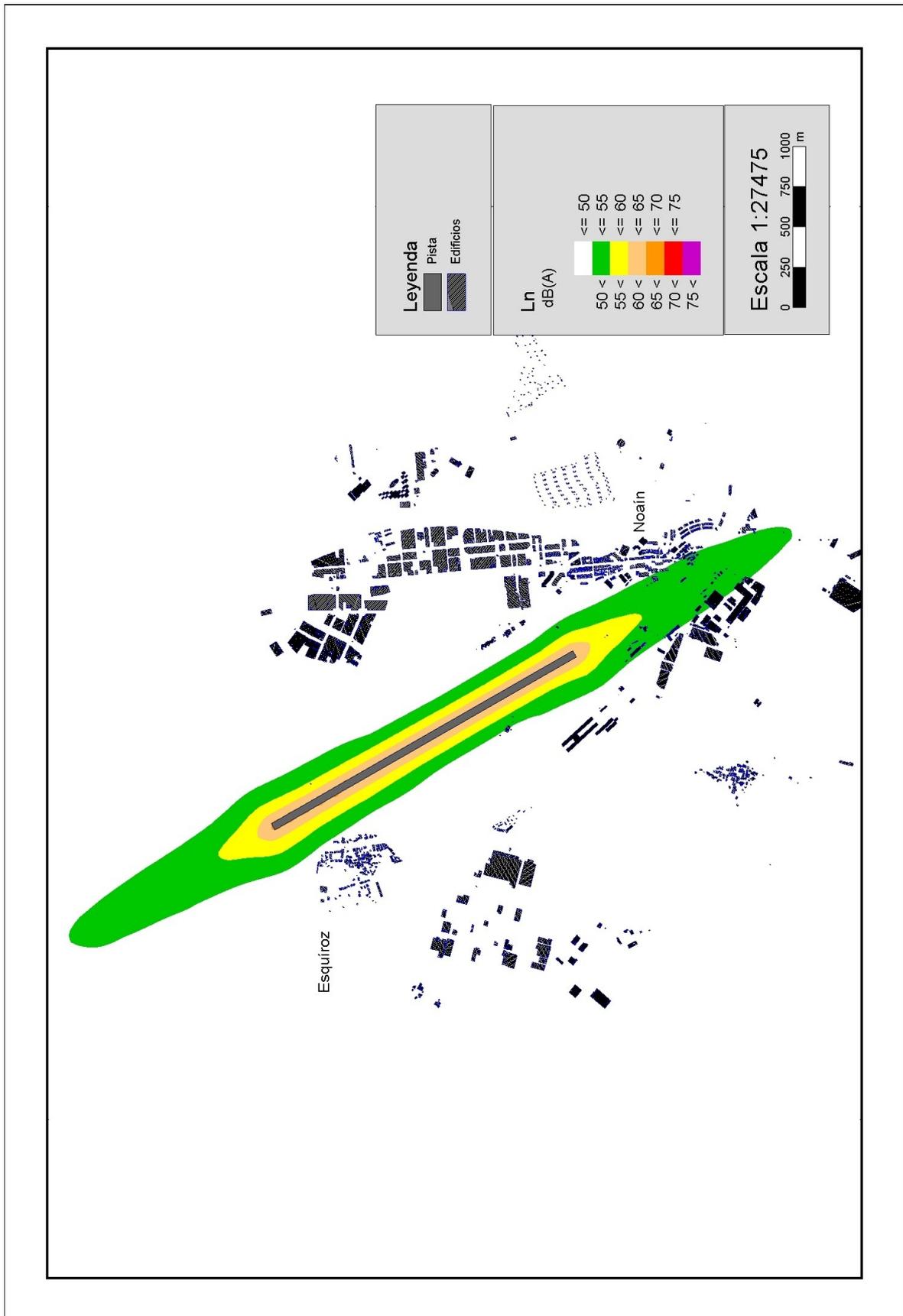
Como no se poseen los datos numéricos de los mapas de ruido de AENA no se han logrado realizar gráficos comparativos, es decir, gráficos de diferencia de niveles en decibelios.



# Mapas de ruido del Aeropuerto de Pamplona con datos del año 2005

## Lden y Ln

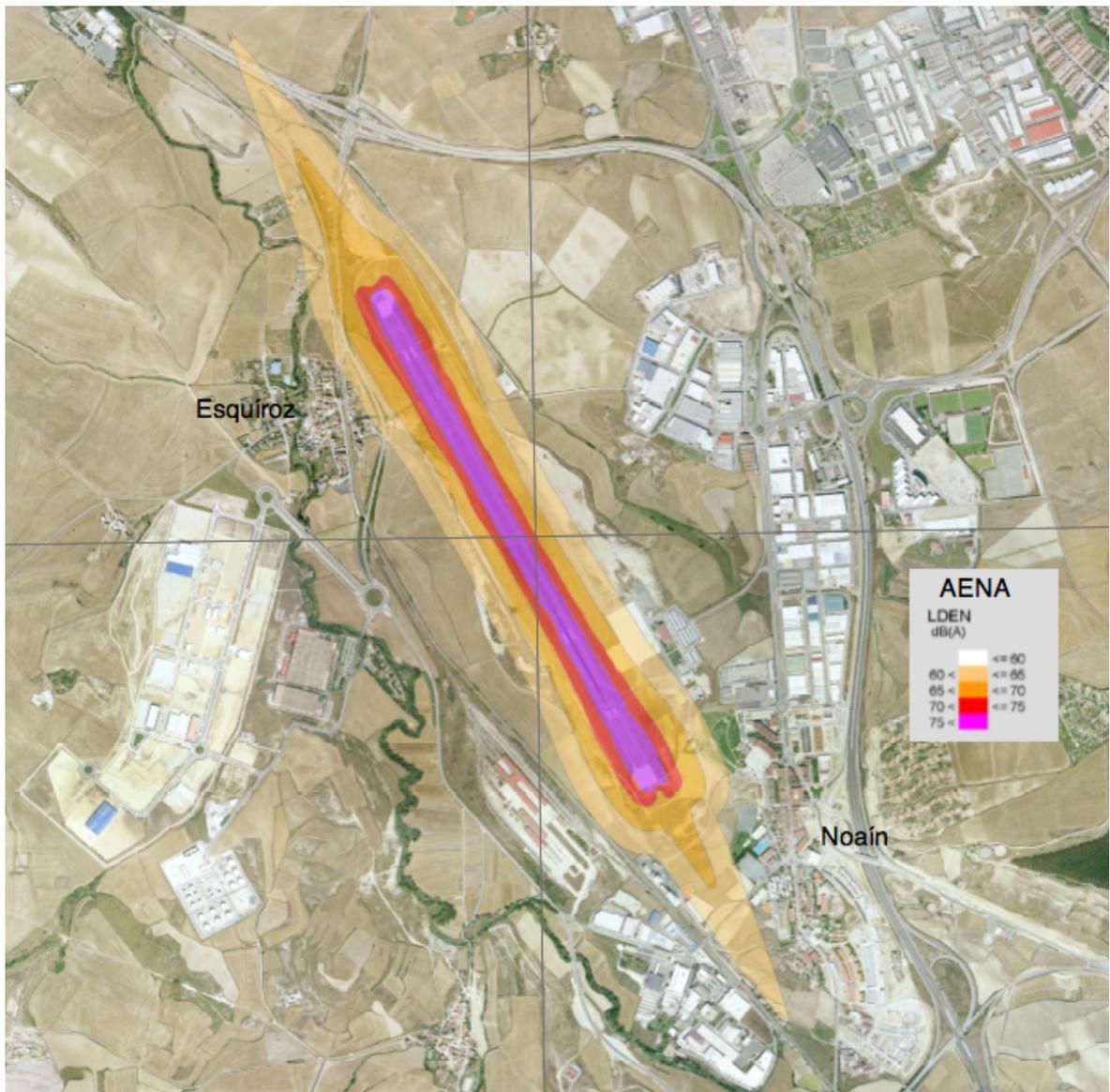


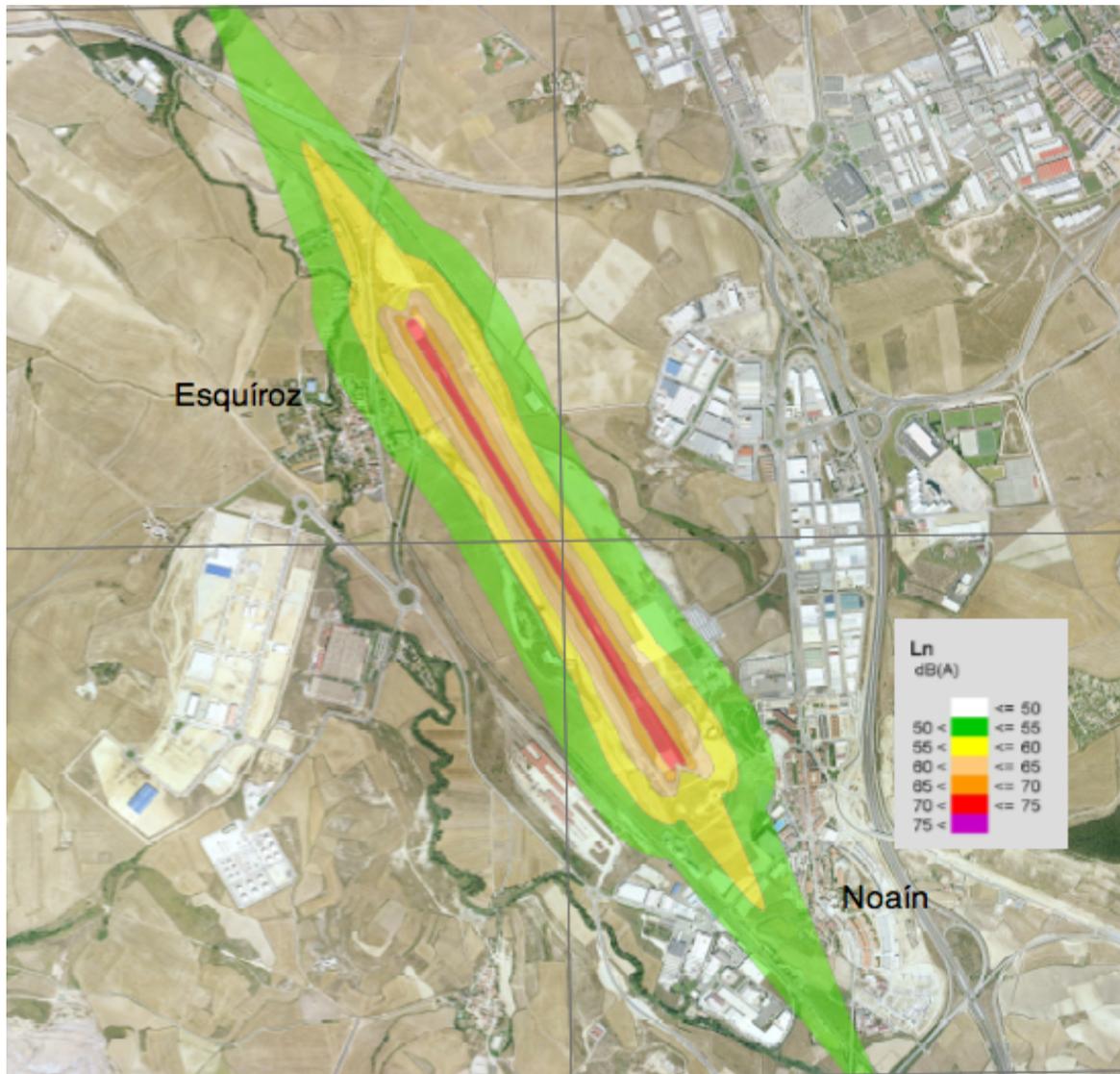




# Mapas de ruido del Aeropuerto de Pamplona proporcionados por AENA

## Lden y Ln





- **Cabecera 15 (Norte)**

- **Lden**

Si se observan (Figura 80) los valores de cada receptor de la malla del mapa simulado en la zona donde la isófona 60 de AENA empieza a afectar al Concejo de Esquíroz, se pueden observar diferencias entre 2 y 3 dB con respecto al mapa de ruido de AENA.

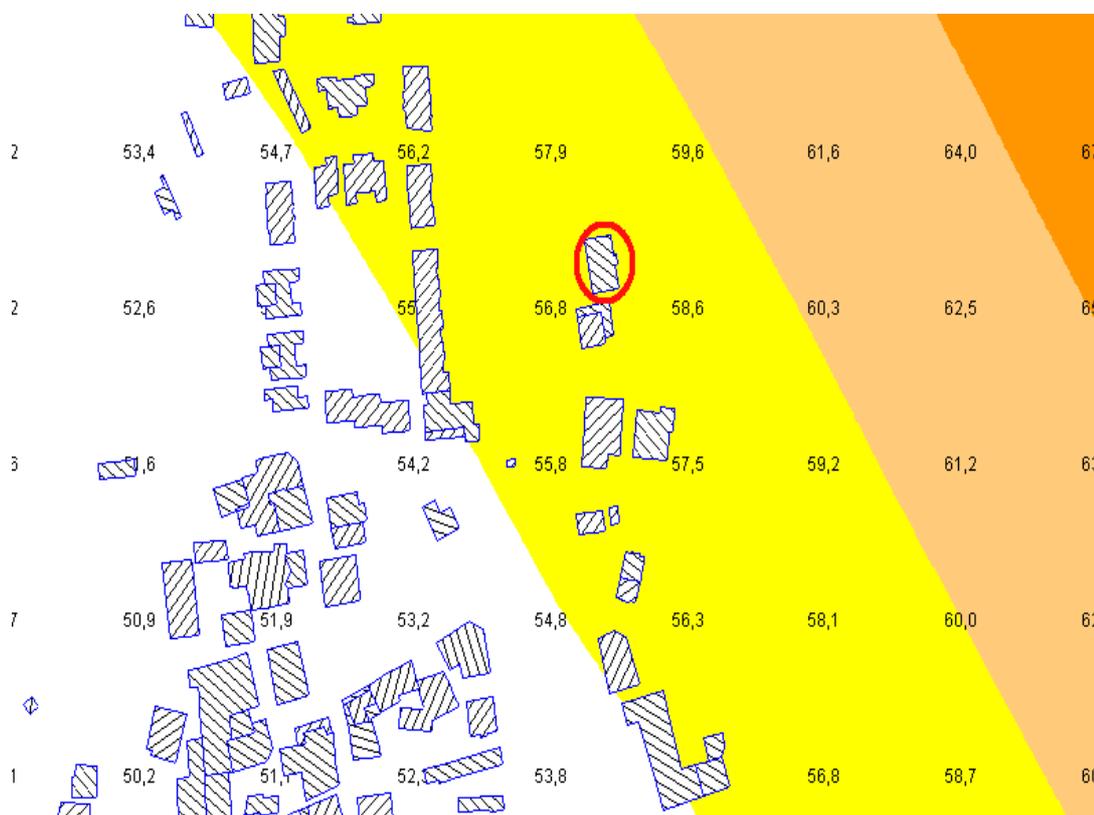


Figura 80: Mapa de ruido simulado. Esquíroz, Lden

El punto rojo marca la ubicación donde la isófona 60 de AENA empieza a afectar a la zona de Esquíroz. Esto quiere decir que según el mapa de ruido de AENA en ese punto hay 60 dBA.



Figura 81: Mapa de ruido de AENA. Esquíroz

También, se observa (Figura 82) que la isófona 60 del mapa de ruido simulado solo posee una diferencia de unos 50 metros aproximadamente con respecto al mapa de ruido de AENA.



Figura 82: Mapa de ruido simulado. Isófona 60, Lden

- Ln

Se puede observar (Figura 83 y 84) que en los límites de la curva isófona 50 hay diferencias de hasta 4.2 dB entre el mapa simulado y el mapa de AENA.



Figura 83: Mapa de ruido de AENA. Límite de isófona 50. Ln

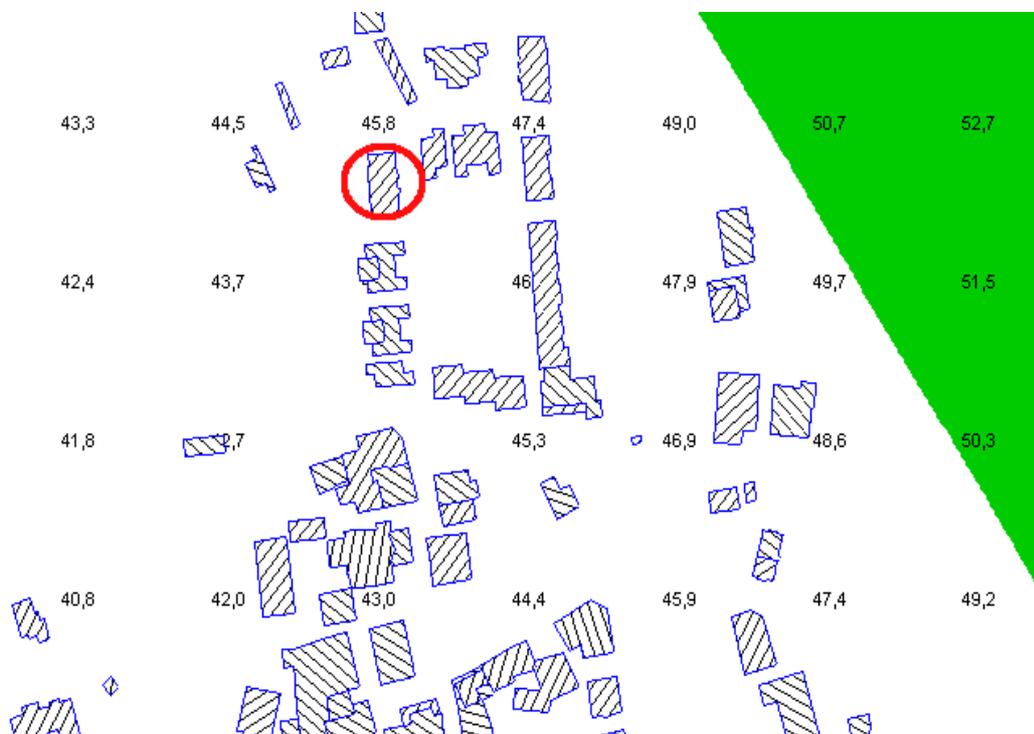


Figura 84: Mapa de ruido simulado. Diferencia de 5 dB con respecto al mapa de AENA. Ln

La isófona 50 (verde) del mapa de ruido simulado (Figura 85) difiere unos 100 metros aproximadamente de la isófona mostrada en el mapa de ruido de AENA.

Como se puede apreciar en la figura la línea roja indica la posición de la isófona 50 del mapa de AENA.

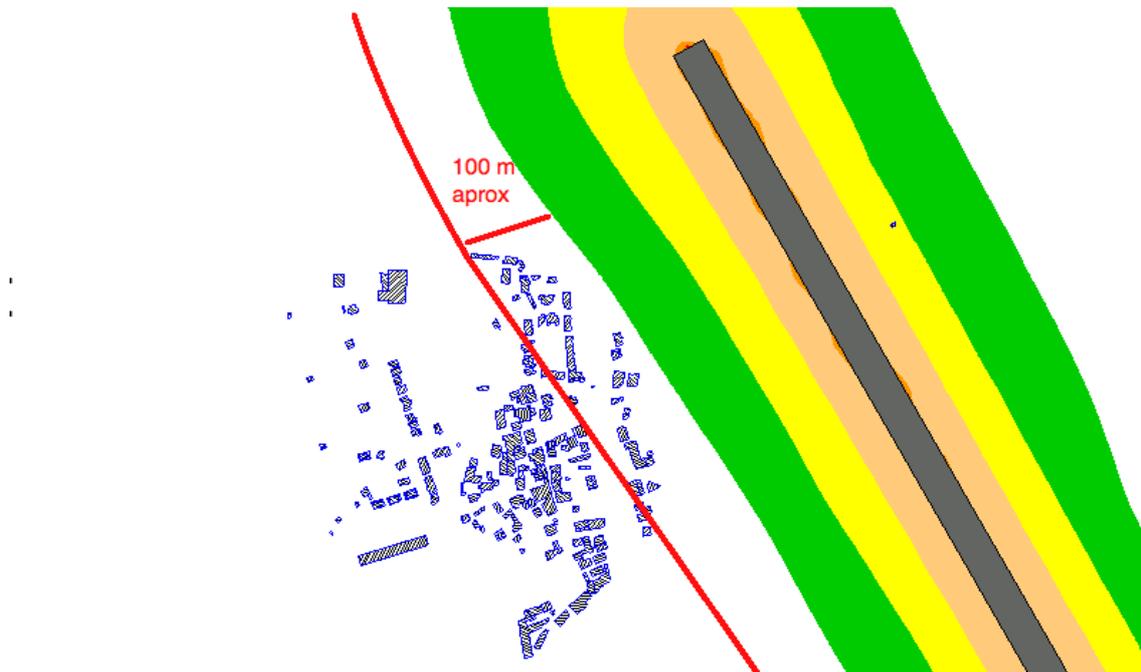


Figura 85: Mapa de ruido simulado. Ln, Esquíroz

- **Cabecera 33 (Sur)**
- **Lden**

Se comprueba que existe una diferencia de aproximadamente 1 dB (Figura 86) entre el mapa simulado y el mapa de AENA en la zona límite de la isófona 65 marcada por el mapa de AENA.

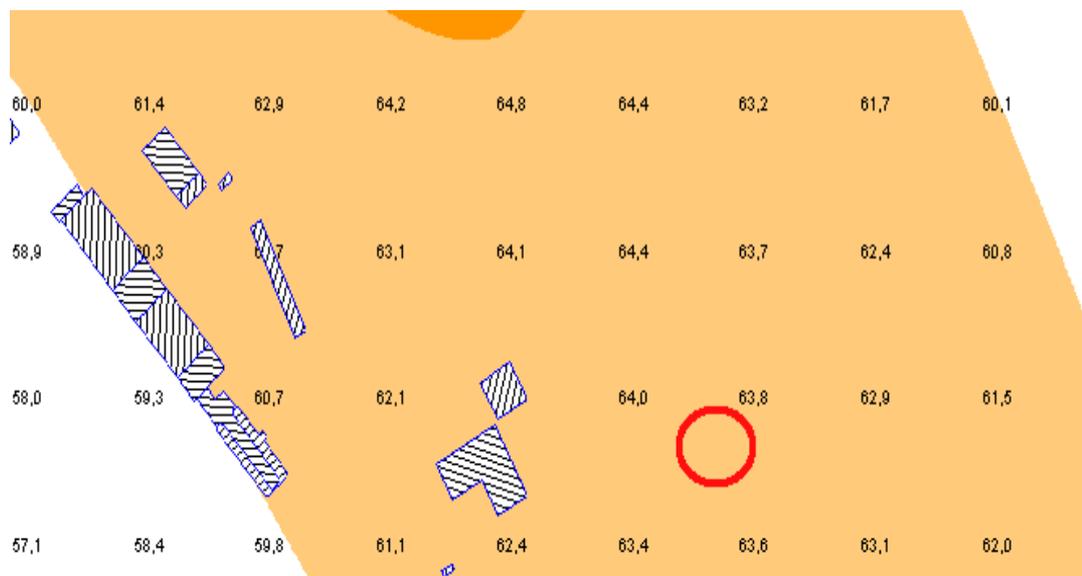


Figura 86: Mapa simulado. El punto indica el límite de la isófono 65 de AENA

La isófono 65 del mapa simulado difiere unos 140 metros aproximadamente (Figura 87 y 88) con respecto a la isófono 65 del mapa de AENA. El punto rojo marca la ubicación final de la isófono 65 del mapa de AENA.

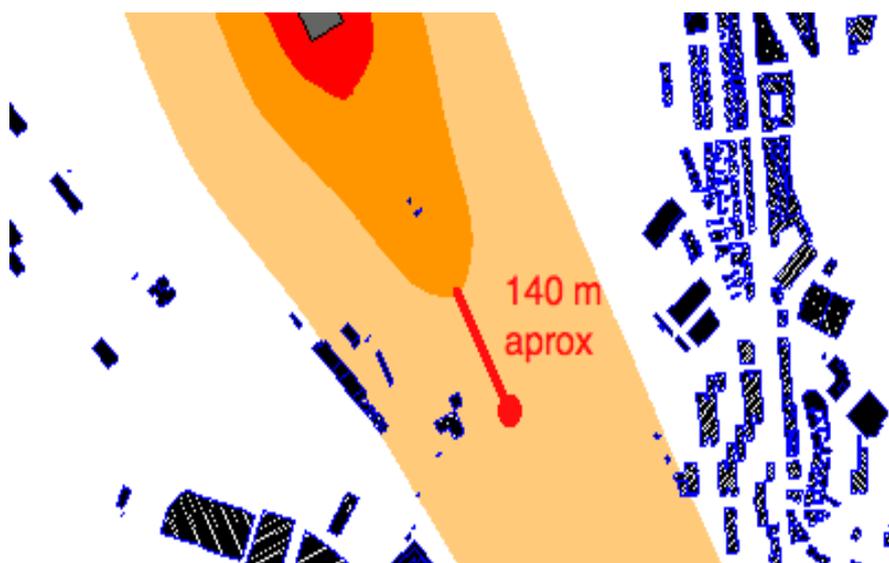


Figura 87: Isófono 65 del mapa simulado. Cabecera sur, Lden



Figura 88: Isófono 65 del mapa de AENA. Cabecera sur, Lden

Se observa una diferencia de unos 0.5 dB (Figura 89) entre el mapa simulado y el mapa de AENA en el límite marcado por la isófono 60 del mapa de AENA. En este caso la isófono 60 del mapa simulado supera a la isófono 60 del mapa de AENA, además, se observa que la isófono 60 del mapa simulado muestra afecciones en algunas viviendas del Municipio de Noáin.

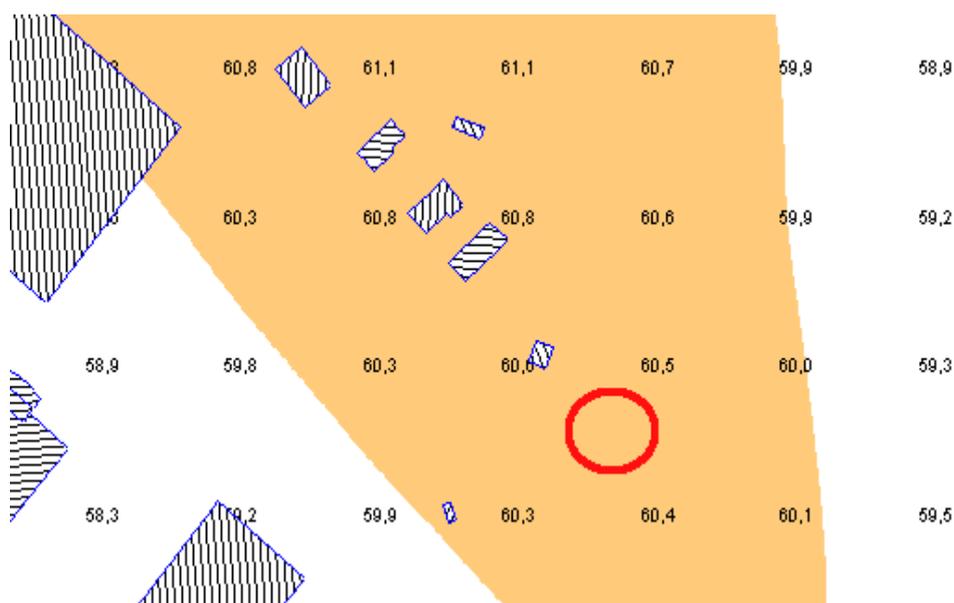


Figura 89: Mapa simulado. El punto indica el límite de la isófono 60 de AENA

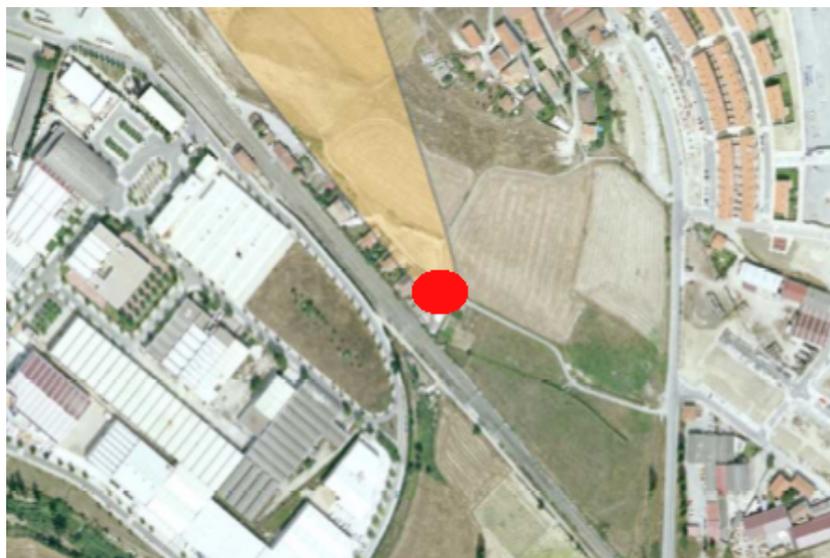


Figura 90: Isófona 60 del mapa de AENA. Cabecera sur

La isófona 60 del mapa simulado tiene más anchura (Figura 91) que la isófona 60 del mapa de AENA. Esto indica que hay mayores niveles en dB que con respecto al mapa de AENA. La mayor diferencia en metros es de unos 100 metros aproximadamente. En la figura 91 la se muestra con la línea roja los límites de la isófona 60 del mapa de AENA.

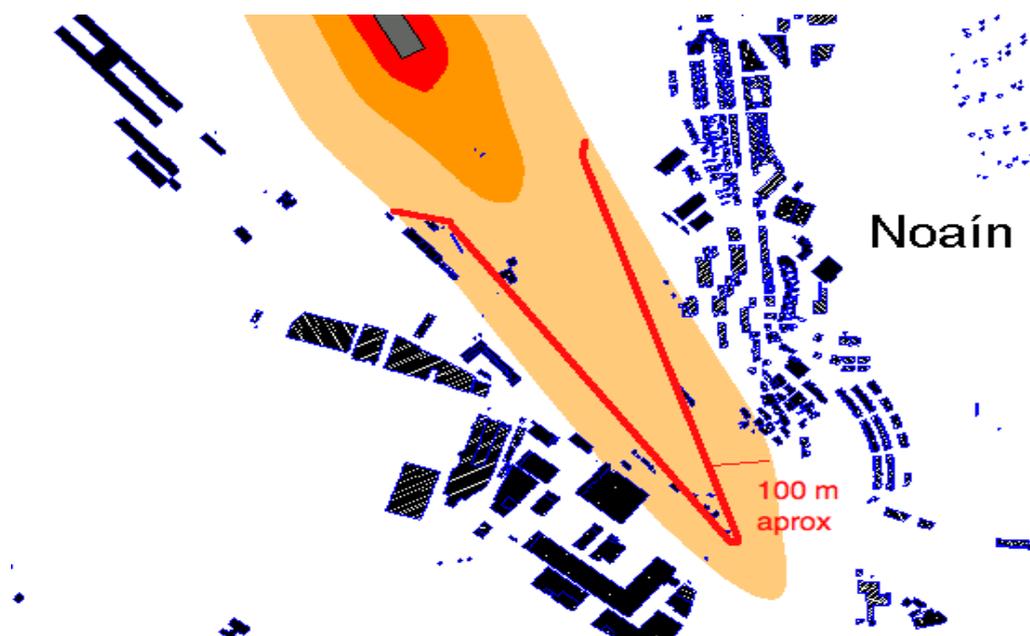


Figura 91: Isófona 60. Cabecera sur, Lden

- Ln

La diferencia entre el mapa simulado y el mapa de AENA en el límite marcado por la isófono 55 del mapa de AENA es de 1 dB.



Figura 92: Mapa simulado. El punto indica el límite de la isófono 55 de AENA



Figura 93: Isófono 55. Cabecera sur, Ln

La isófono 55 del mapa simulado difiere unos 200 metros aproximadamente (Figura 94) con respecto a la isófono 55 del mapa de AENA. El punto rojo marca la ubicación final de la isófono 55 del mapa de AENA.

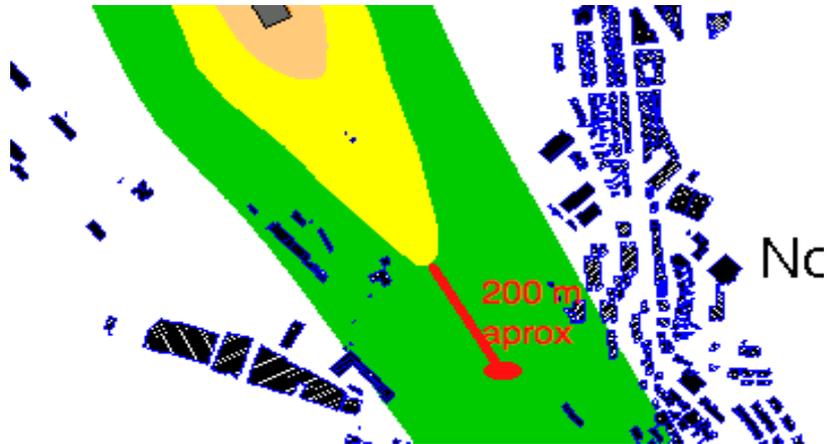


Figura 94: Isófono 55. Cabecera sur, Ln

La isófono 50 del mapa simulado guarda un gran parecido con la isófono 50 del mapa de AENA (Figura 95 y 96).

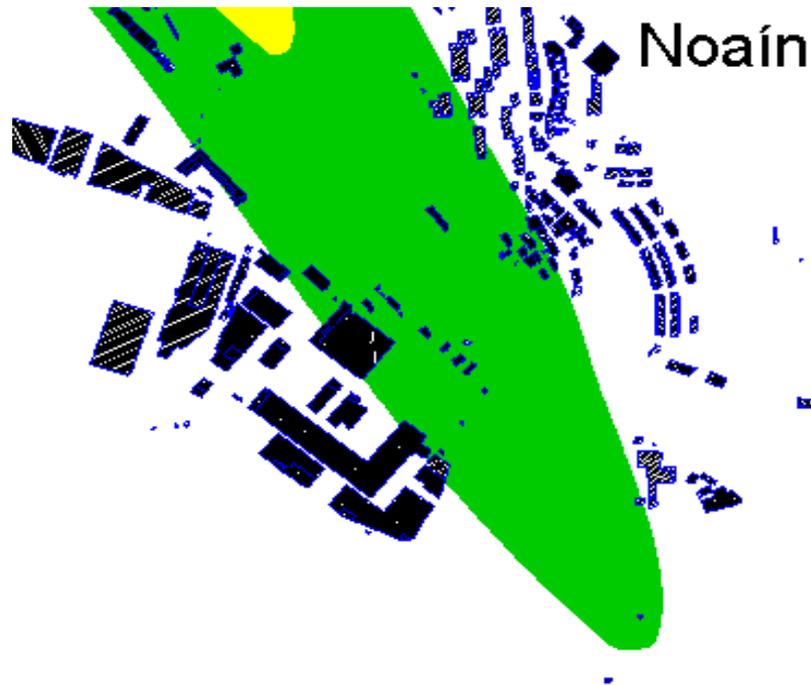


Figura 95: Isófono 50 mapa simulado. Cabecera sur, Ln

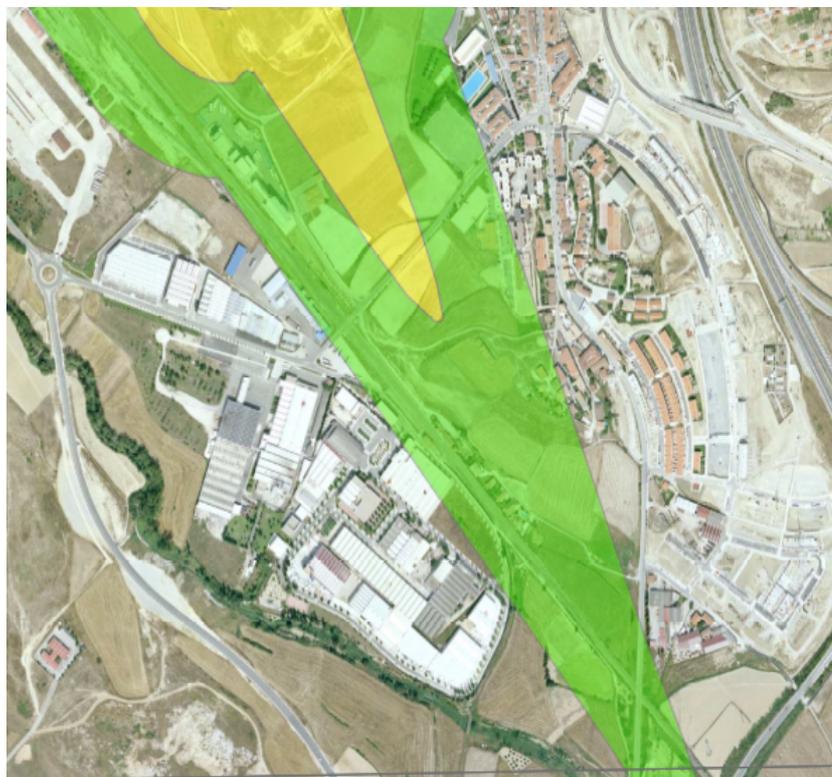


Figura 96: Isófona 50 mapa de AENA. Cabecera sur, Ln

#### 4.2.4.3. Simulaciones con datos de los años 2007 y 2009

Se ha realizado una simulación con datos de los años 2007 y 2009 del ruido de aeronaves en el Aeropuerto de Pamplona. El escenario de simulación ha sido el mismo que el explicado anteriormente salvo la adaptación de los datos de tráfico correspondiente a cada año. Solo se comparará el nivel Lden con la simulación del año 2005 mediante gráficas de diferencias.

La siguiente gráfica (Figura 97) muestra la comparación entre el mapa de ruido con datos de tráfico del año 2005 menos el mapa de ruido con datos de tráfico del año 2007.

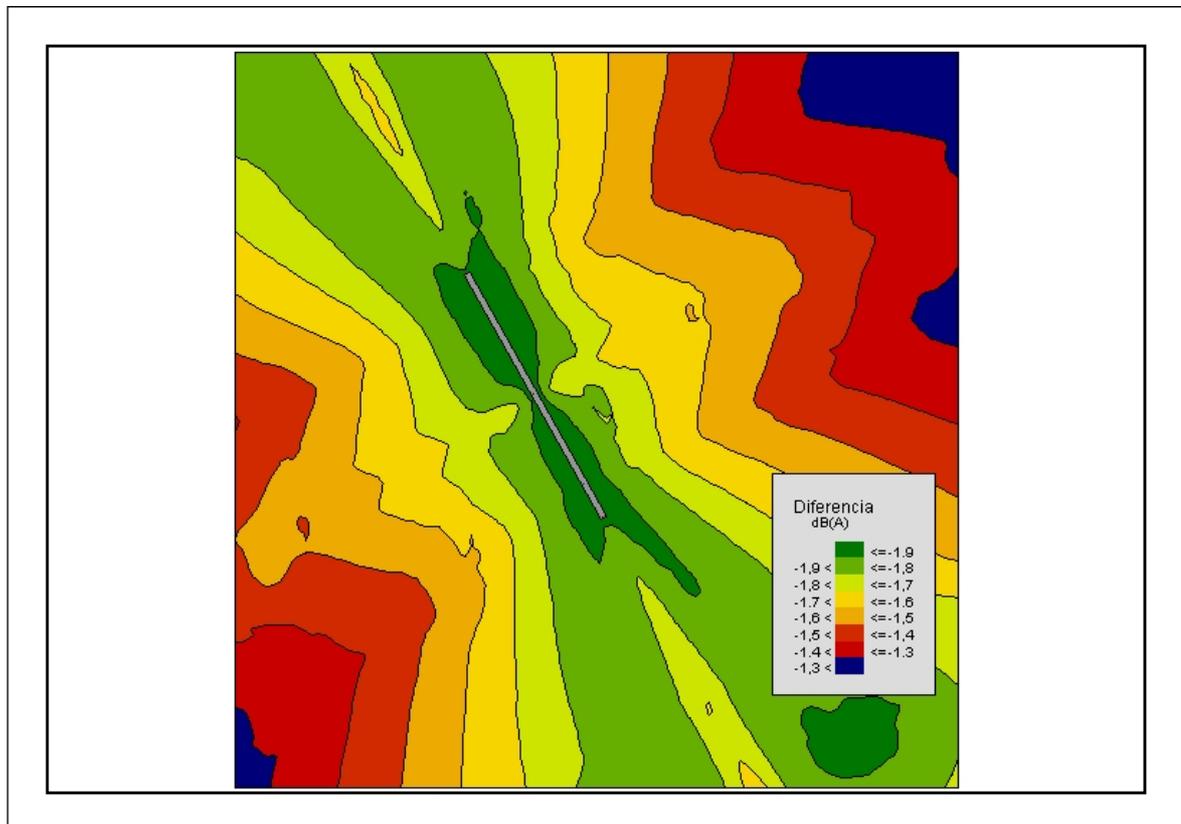


Figura 97: Simulación 2005 vs Simulación 2007

Se observa que los niveles  $L_{den}$  han sido mayores en el año 2007 comparado con el  $L_{den}$  del año 2005. Las mayores diferencias se presentan cerca de la pista y de la trayectoria de las aeronaves, dichas diferencias llegan casi a 2 dB.

A continuación se presenta la gráfica (Figura 98) que muestra las diferencias entre las simulaciones del año 2005 y 2009.

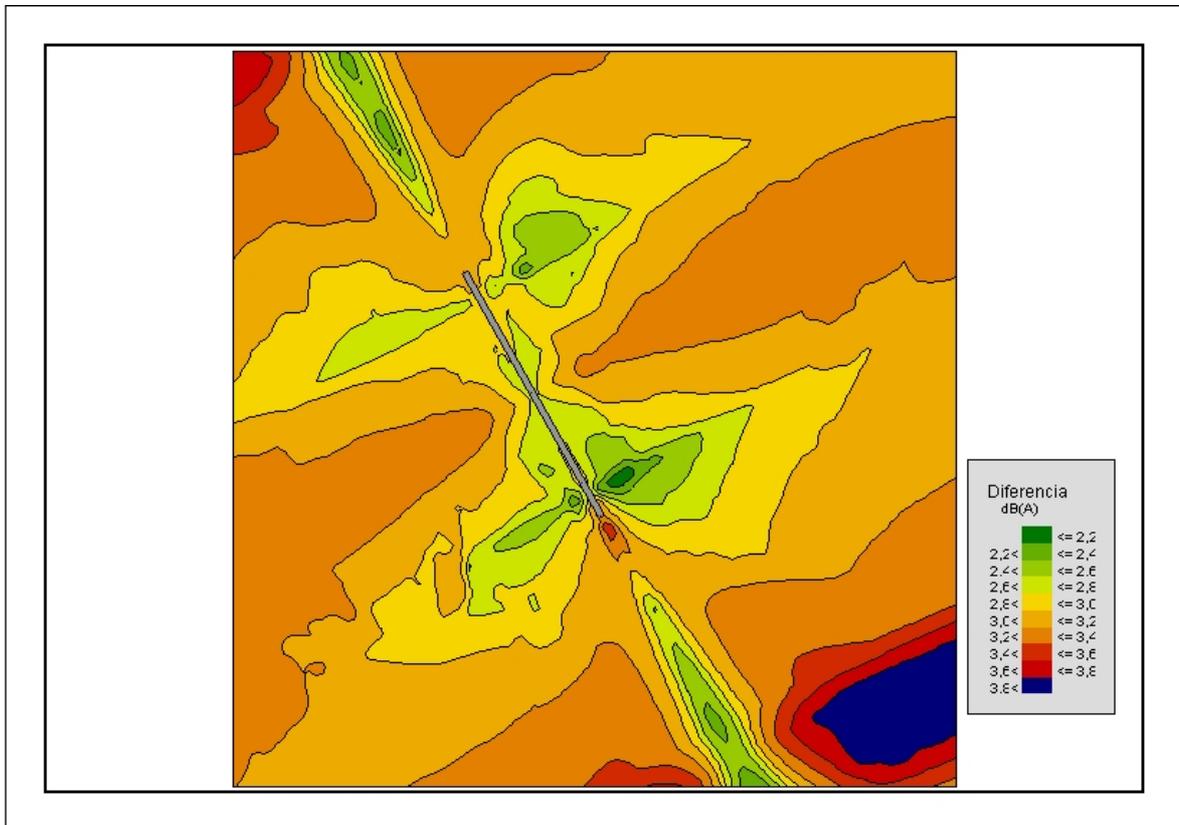
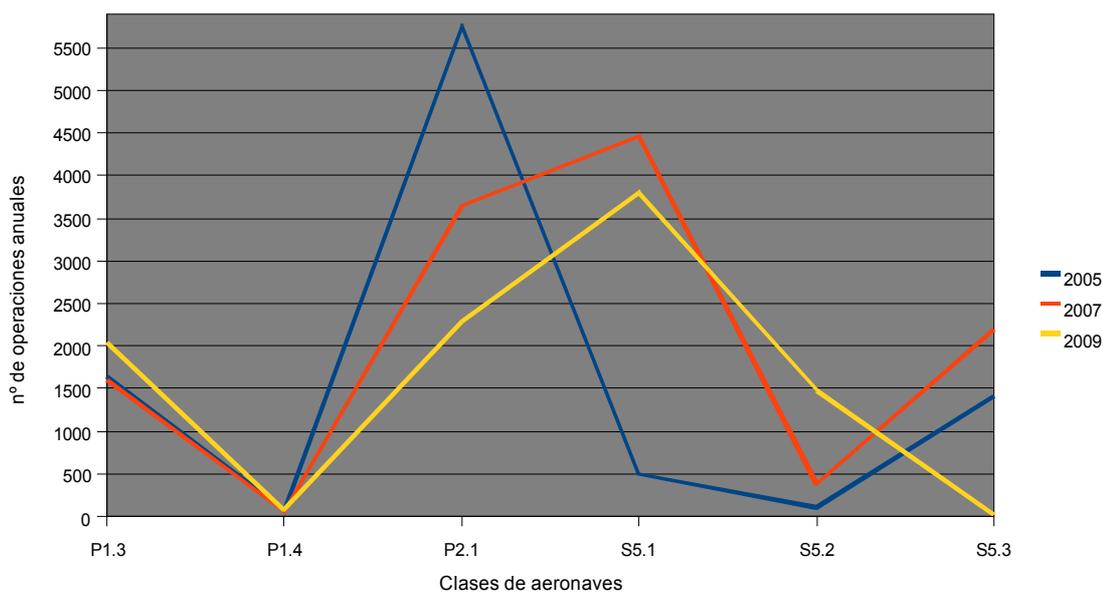
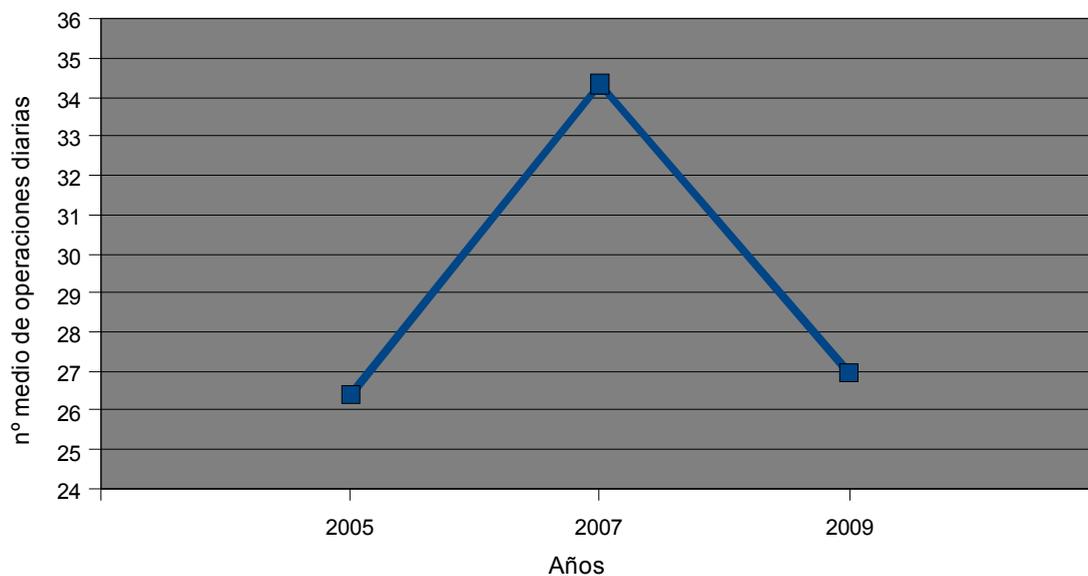


Figura 98: Simulación 2005 vs Simulación 2009

Se observa que los niveles  $L_{den}$  en el año 2005 han sido mayores que los niveles del año 2009. Se presentan diferencias de más de 3 dB.

Para analizar el resultado de las diferencias en las medidas simuladas para los distintos años se hará uso de dos gráficas. En primera instancia se mostrará el número medio de operaciones diarias para los años 2005, 2007 y 2009. Luego, se presentará el número de operaciones anuales para cada tipo de aeronave en los años antes mencionados.



El número medio de operaciones diarias en los años 2005 y 2009 se encuentra entre 26 y 27 operaciones medias diarias. En cambio en el año 2007 el número medio de operaciones diarias se ubica por encima de las 34 operaciones. Esto indica que en el año 2007 el número de eventos fue mayor que en los años 2005 y 2009.



En el año 2005 la mayor parte de las operaciones se concentran en la clase de aeronave P2.1 con un número de operaciones superior a 5000. Esta clase de aeronave tiene un motor de tipo hélice.

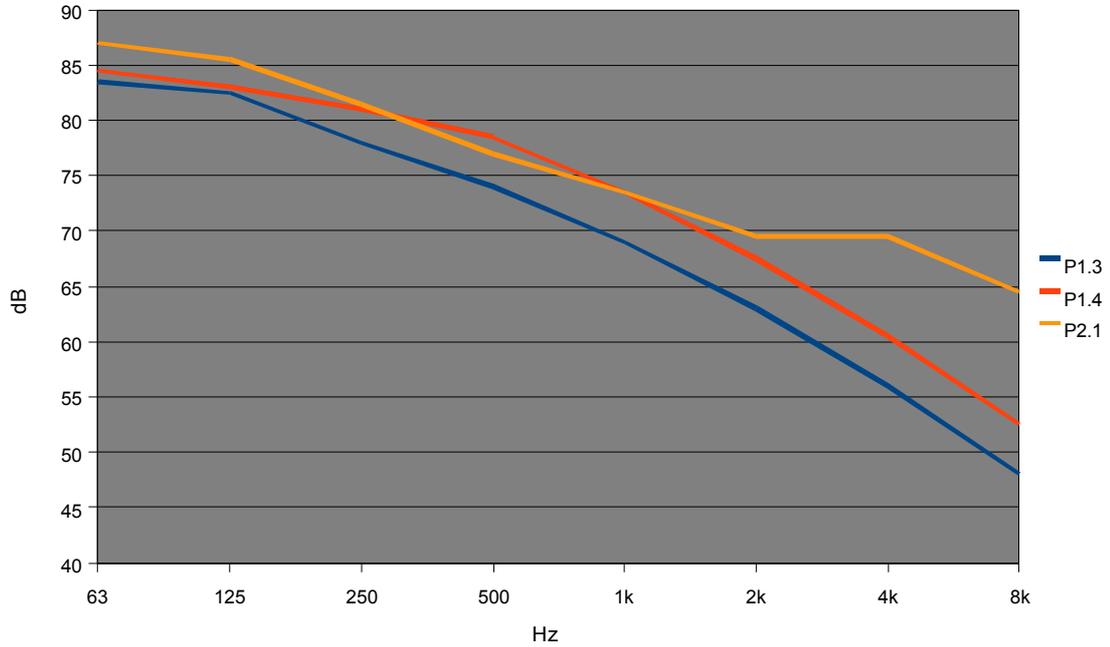
En el año 2007 gran parte del número de eventos se reparte entre las siguientes clases: P2.1 con más de 3000 operaciones, S5.1 con más de 4000 operaciones y S5.3 con más de 2000 operaciones. Las clases S5.x corresponden a aeronaves con motor a reacción.

En el año 2009 las clases P2.1 y S5.1 ocupan la mayor parte del número de operaciones medias de ese año con más de 2000 operaciones cada una.

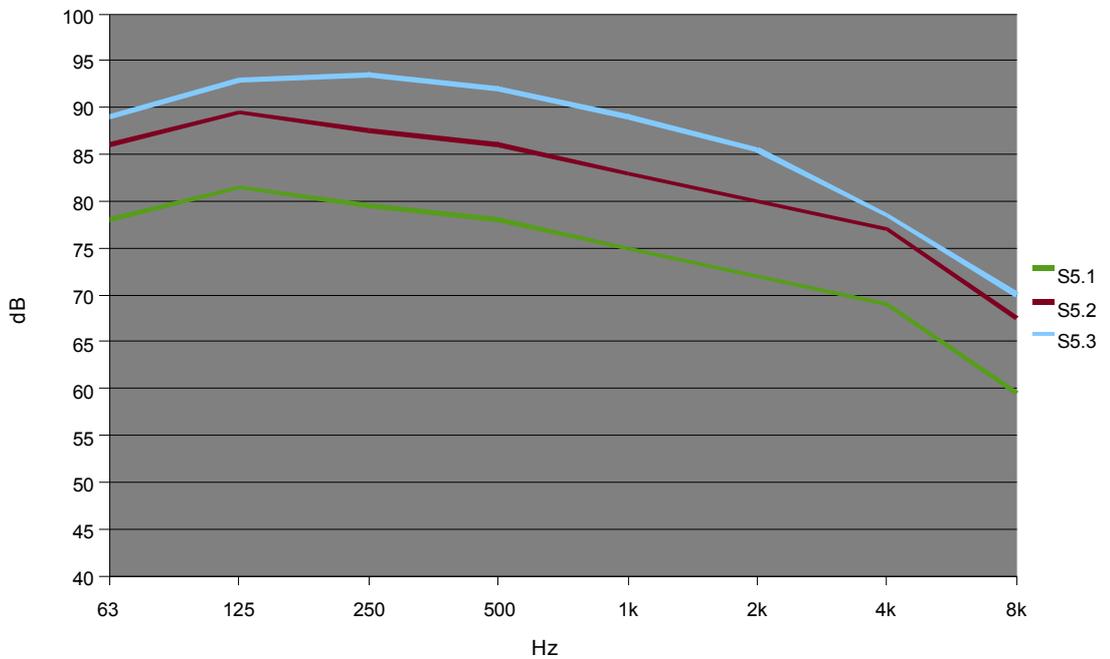
La tendencia ha sido la disminución de operaciones de las clases de aeronaves P2.1 de más de 5000 operaciones a casi 2000 operaciones anuales, también se ha registrado el aumento de operaciones de las clases de aeronaves S5.1 de menos de 1000 operaciones a más de 3000, entre los años 2005 y 2009.

Para reflejar el efecto en los niveles de inmisión de las clases de aeronaves anteriormente mencionadas es necesario mostrar los espectros en bandas de octava de los niveles sonoros de dichas clases. Los espectros mostrados se han obtenido directamente de las tablas de grupos de aeronaves del estándar AzB y se han dividido en dos grupos: despegue y aterrizaje. Dichos espectros han sido medidos a una distancia de referencia de 300 metros.

### Despegue de aeronaves clase P (hélice)



### Despegue de aeronaves clase S (reacción)



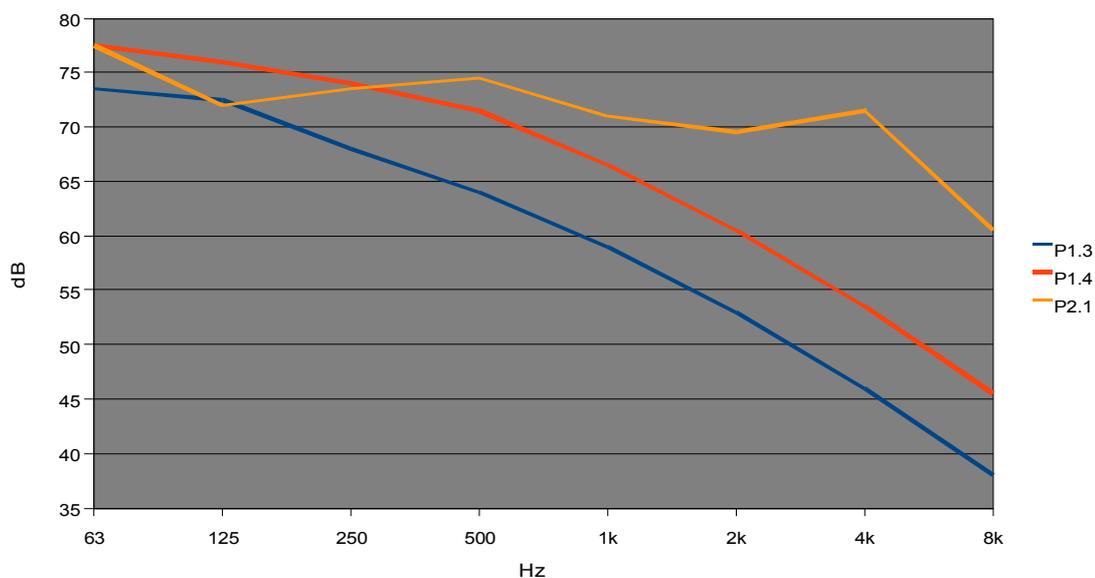
En la operación de despegue la forma de los espectros de todas las clases son similares, observando altos niveles entre en bajas frecuencias y bajos niveles en altas frecuencias.

En las aeronaves de clase P (hélice) se observa que a bajas frecuencias los niveles están alrededor de los 85 dB. En general, los espectros mantienen la misma forma excepto a 4 KHz donde la clase P2.1 tiene un nivel de unos 70 dB muy diferente de los niveles 55 y 60 dB de las clases P1.3 y P1.4, respectivamente.

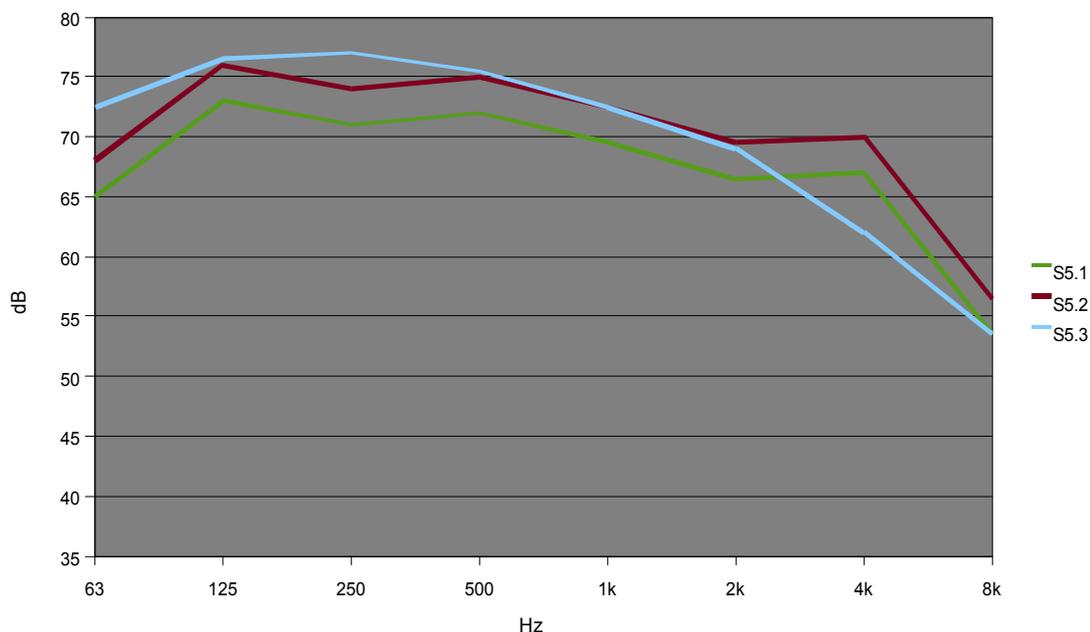
En el despegue de las aeronaves de clase S los espectros son muy similares en su forma, solo diferenciándose en los niveles de emisión. Por ejemplo, las clases S5.1 y S5.2 tienen una diferencia de nivel continua de casi 10 dB. La clase S5.3 posee niveles muy altos en bajas frecuencias llegando a superar los 90 dB.

Al igual que en la operación de despegue, en la operación de aterrizaje el espectro de todas las clases de aeronaves tiene niveles altos en bajas frecuencias y niveles bajos en altas frecuencias.

Aterrizaje de aeronaves de clase P (hélice)



Aterrizaje de aeronaves de clase S (reacción)



Los espectros de las clases P1.3 y P1.4 tienen la misma forma pero con una diferencia de nivel en cada banda entre 5 y 8 dB. Sus espectros en frecuencias medias y altas tienen niveles menores a 10 dB o más con respecto a la clase P2.1 en la frecuencia de 4 KHz.

Las clases S5.1 y S5.2 tienen una diferencia de nivel continua menor que 5 dB. La clase S5.3 posee niveles altos en bajas frecuencias llegando a superar los 70 dB, por lo contrario a frecuencias altas los niveles están por debajo de 70 dB.

En general, se observa que cada clase posee un espectro independiente para cada tipo de operación. Además, se encuentran diferencias notables entre los espectros de cada clase tanto para la operación de aterrizaje como para la operación de despegue. Esto indica que los niveles de inmisión serán diferentes para cada clase de aeronave.

Se concluye que la diferencia de niveles  $L_{den}$  existente entre los años 2005, 2007 y 2009 no solo es producto de la variación del número de eventos en dichos años sino también por la variación del número de componentes en la flota aérea.

#### 4.2.4.4. Valores experimentales

Durante los días del 25 de Mayo al 1 de Junio del año 2007 el personal del Laboratorio de Acústica del Departamento de Física realizó medidas en la cabecera 34 (sur) de la pista del Aeropuerto de Pamplona.

Con el mapa de ruido simulado con datos de tráfico del año 2007 se verificará que los datos experimentales están dentro de las isófonas correspondientes al mapa simulado.

La estación de medida se encontraba a 200 metros de la pista.



Figura 99: Estación de medida. Valores experimentales 2007

Los resultados de las medidas experimentales han sido los siguientes:

Días	Ld (dBA)	Le (dBA)	Ln (dBA)	Lden (dBA)
<b>Viernes</b>	65.5	63.6	52.8	65.6
<b>Sabado</b>	59.8	58.4	54.1	62.3
<b>Domingo</b>	60.1	61.7	61.6	67.8
<b>lunes</b>	64.0	67.1	53.9	66.8
<b>martes</b>	63.6	62.1	61.6	68.3
<b>miercoles</b>	62.4	61.9	61.8	68.3
<b>jueves</b>	62.9	63.6	50.4	64.0
<b>Media</b>	62.6	62.6	56.6	65.3

El Lden simulado con datos de tráfico del año 2007 es el siguiente:

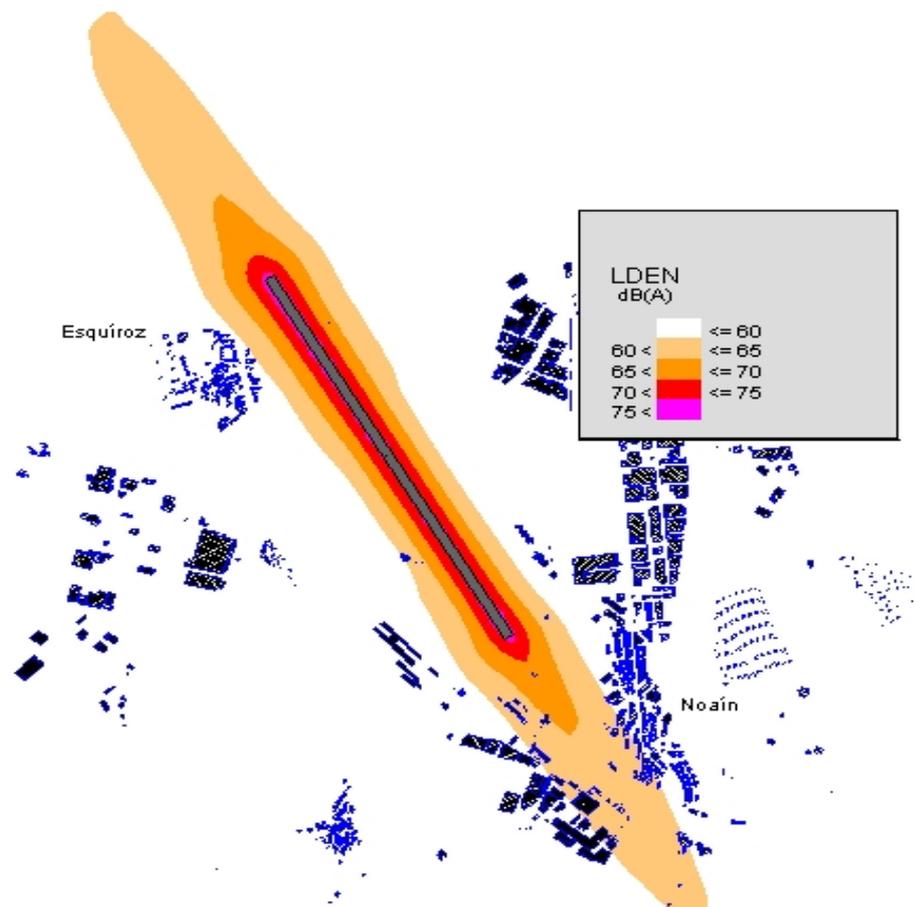


Figura 100: Mapa simulado año 2007. Lden

Ahora veamos la ubicación de la estación de medida en el mapa simulado.

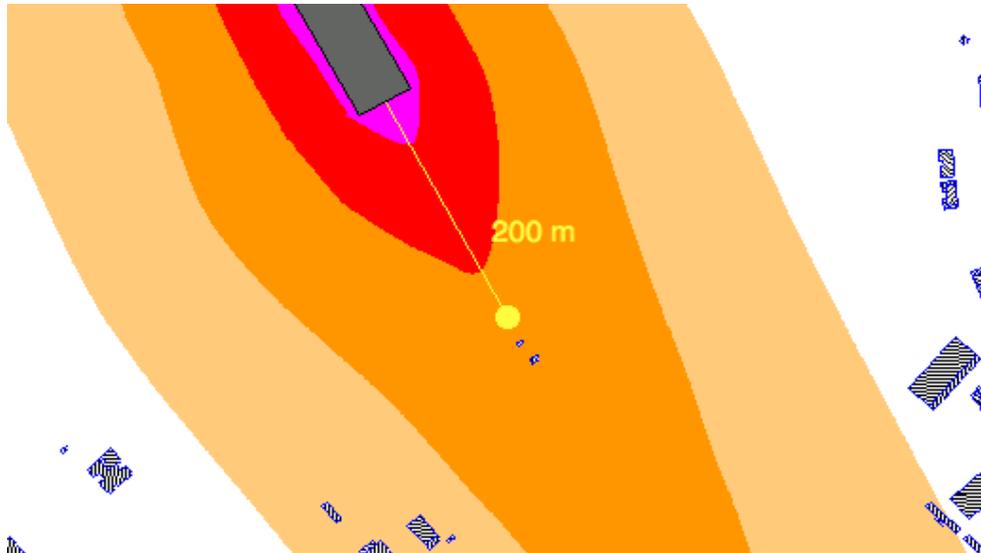


Figura 101: Estación de medida en el mapa simulado

Por lo tanto, los valores experimentales deben estar entre la isófono 65 y la isófono 70. Mediante la siguiente tabla se pueden ver los valores que se encuentran entre dichas isófonas:

Días	Lden (dBA)
Viernes	65.6
Sabado	62.3
Domingo	67.8
lunes	66.8
martes	68.3
miercoles	68.3
jueves	64.0
Media	65.3

Se observa que salvo los días Sábado y Jueves todos los demás días se encuentran dentro de los límites marcados por el mapa de ruido simulado. Incluso la media de los valores está dentro de los límites marcados por la simulación.

## **5. Análisis comparativo entre los niveles deafección provocados por una aeronave con motor de hélice y otra con motor a reacción**

Mediante el módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPlan se ha dispuesto un escenario de cálculo para comparar una aeronave con motor de hélice y otra con motor a reacción.

La comparación se hará tanto para la operación de despegue como para la operación de aterrizaje, observando de esta manera la influencia del tipo de operación en los niveles sonoros. Se ha considerado el nivel máximo Lmax para las comparaciones.

### **5.1. Escenario de cálculo y clases de aeronaves a comparar**

El procedimiento seguido para realizar las comparaciones con el módulo de ruido de aeronaves de el programa SoundPlan fue el siguiente:

1. Creación de un escenario de cálculo general para todas las operaciones.
2. Definición de las trayectorias para cada operación de las dos clases de aeronaves a comparar.
3. Elección de las clases de aeronaves mediante la librería *AzB1975*.
4. Configuración de los datos de tráfico para que las operaciones de despegue y aterrizaje fuesen individuales para cada clase de aeronave.



5. Creación de un área de cálculo para obtener los mapas de ruido generado por cada tipo de operación de cada clase de aeronave.
6. Creación de gráficos de diferencia entre las operaciones de aterrizaje y de despegue.

Los datos geográficos del aeropuerto y las pistas corresponden con los de la simulación realizada para el Aeropuerto de Pamplona.

Las clases de aeronaves elegidas para el análisis comparativo han sido:

- Clase de aeronave P2.1: Aeronaves con motor de hélice.
- Clase de aeronave S5.1: Aeronaves con motor a reacción.

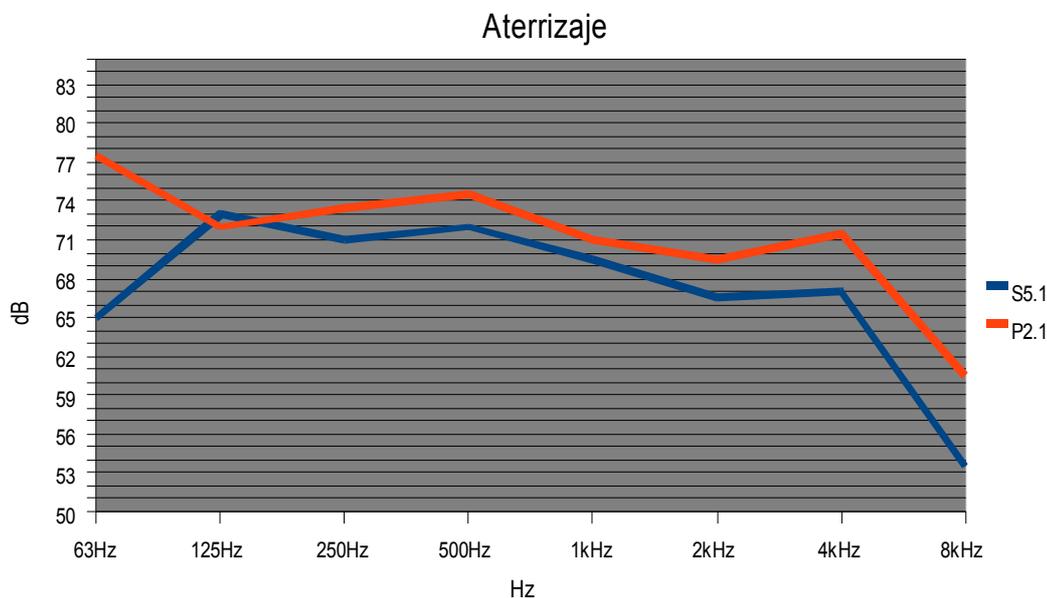
Los cálculos de los gráficos de diferencia han sido los siguientes:

- Los niveles LA<sub>max</sub> del aterrizaje de la clase P2.1 menos los niveles LA<sub>max</sub> del aterrizaje de la clase S5.1.
- Los niveles LA<sub>max</sub> del despegue de la clase P2.1 menos los niveles LA<sub>max</sub> del despegue de la clase S5.1.

## 5.2. Resultados

- **Aterrizaje**

La siguiente gráfica muestra los niveles de presión sonora en bandas de octava de ambas aeronaves cuando están realizando la operación de aterrizaje. La distancia de referencia de dichas medidas es de 300 metros.



En la gráfica anterior se observa como la aeronave de la clase P2.1 supera en niveles de presión sonora en todas las bandas de octava a la clase S5.1, excepto en la banda de 125 Hz donde la clase de aeronave S5.1 supera en 1 dB a la clase P2.1.

La diferencia de niveles L<sub>Amax</sub> se muestra en la figura 102.

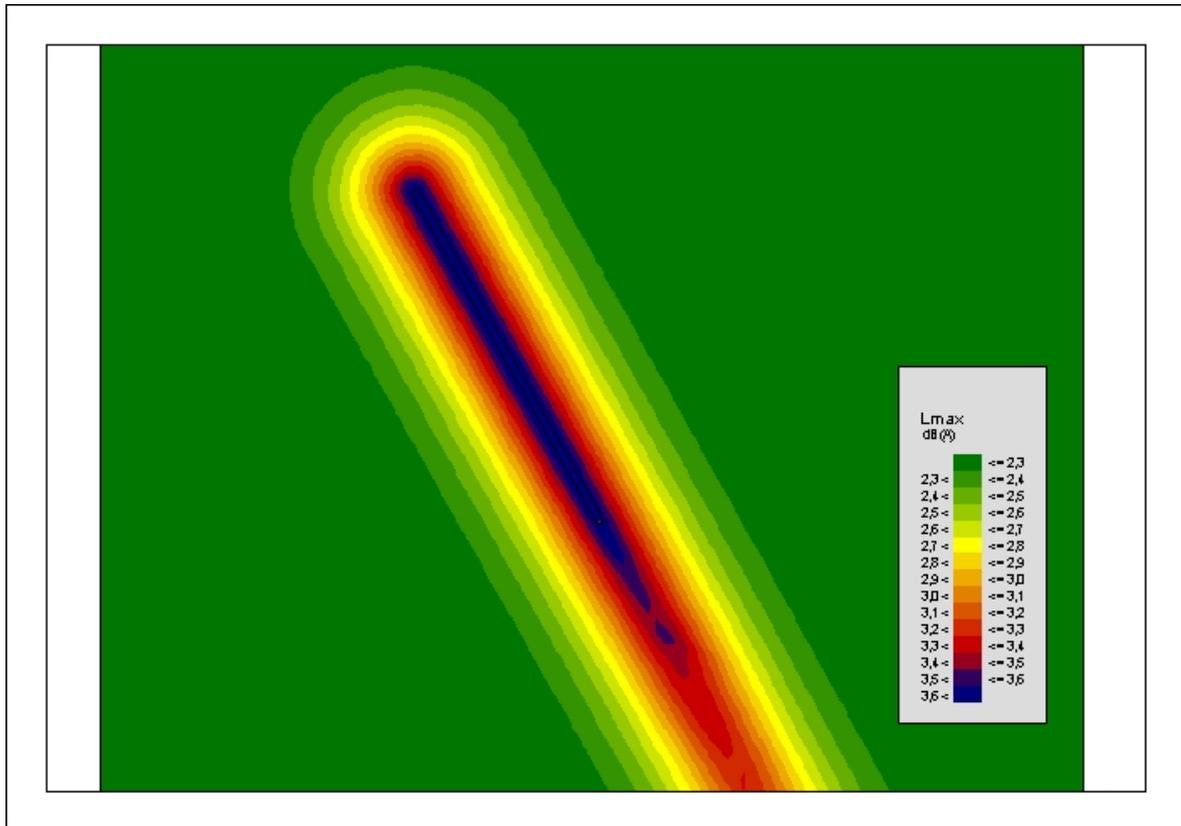
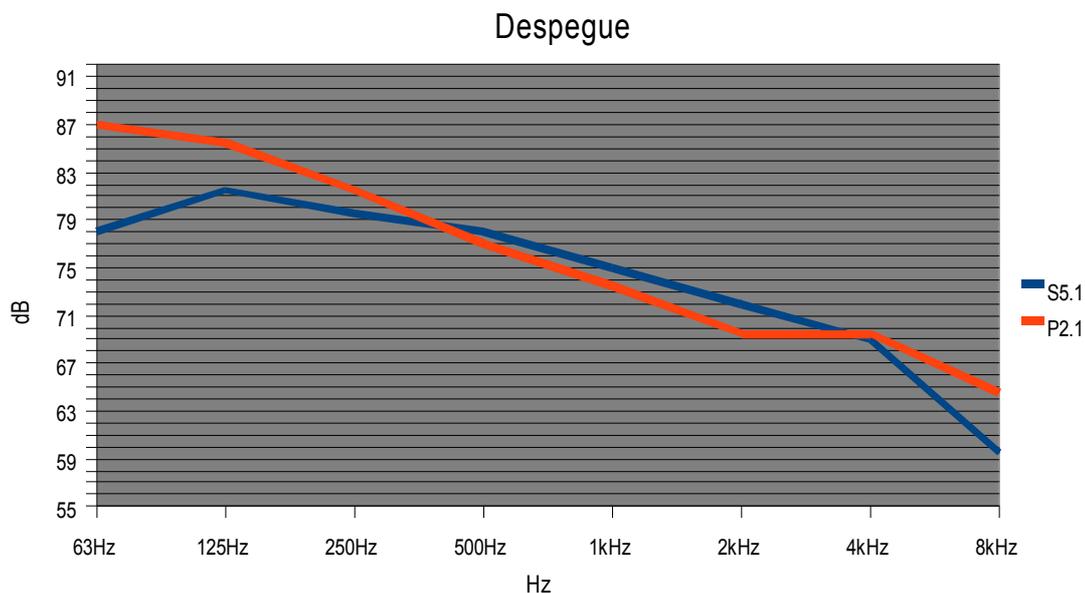


Figura 102: Diferencia de niveles. Aterrizaje

Se puede apreciar que la clase de aeronave P2.1 (hélice) supera entre 2 y 3 decibelios a los niveles máximos de la clase de aeronave S5.1.

- **Despegue**

La siguiente gráfica muestra los niveles de presión sonora en bandas de octava de ambas aeronaves cuando están realizando la operación de despegue. La distancia de referencia de dichas medidas es de 300 metros.



Como se observa en la gráfica la clase P2.1 tiene mayores niveles de presión sonora que la clase S5.1 en bajas frecuencias, es decir, entre 63 y 250 Hz.

En las frecuencias medias de 500 a 2000 Hz la clase de aeronave S5.1 tiene mayores niveles de presión sonora que la clase P2.1. Por ejemplo, a 1KHz se tiene una diferencia de casi 2 dB.

Por último, a altas frecuencias la clase de aeronave P2.1 tiene mayores niveles de presión sonora que la clase S5.1.

La diferencia de niveles L<sub>Amax</sub> para la operación de despegue se muestra en la figura 103.

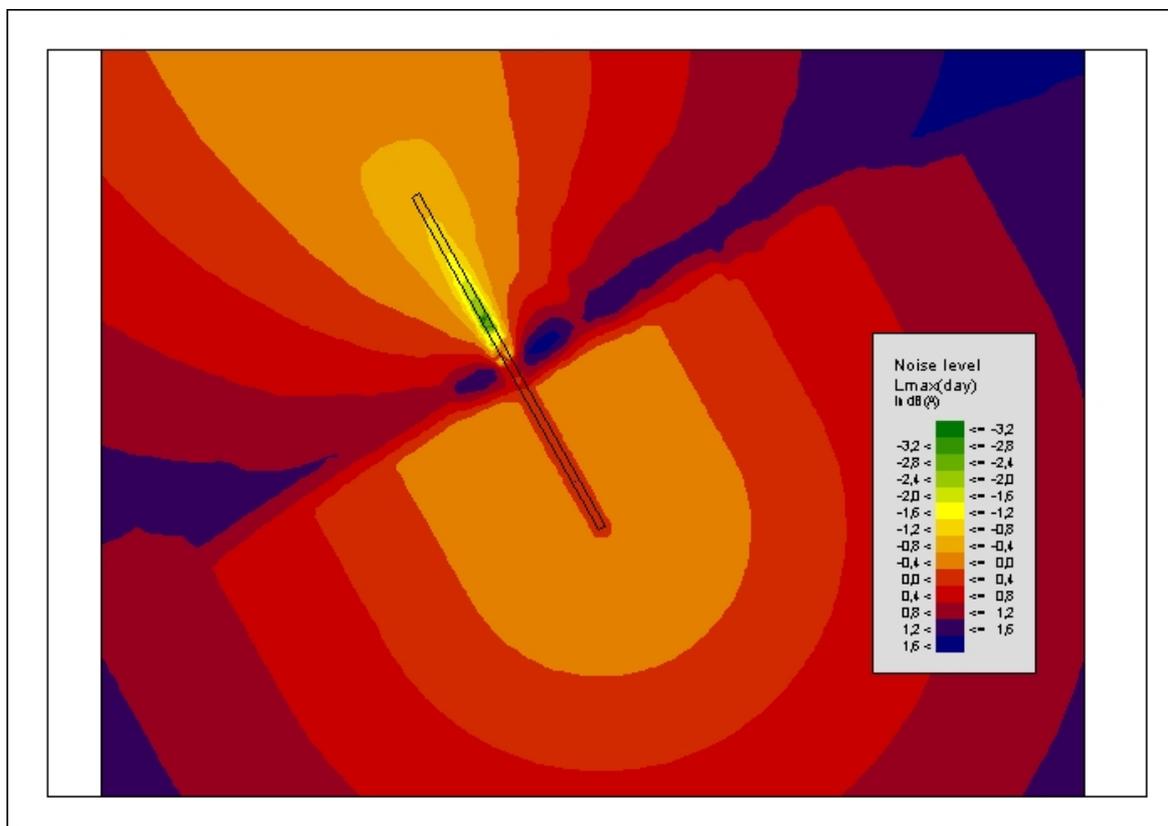


Figura 103: Diferencia de niveles. Despegue

Se puede observar en la figura que en zonas cerca de la pista y de la trayectoria de despegue de la aeronave los niveles máximos de la clase S5.1 son ligeramente mayores a los niveles de la clase P2.1, en específico un rango menor que 0.8 decibelios. Esto es debido a que la clase S5.1 tiene mayores niveles a frecuencias medias que la clase P2.1 y al estar tan cerca de la trayectoria de la aeronave los niveles de inmisión en esas bandas son lo suficientemente altos como para que la absorción del aire u otros efectos de propagación no disminuyan considerablemente los niveles a esas frecuencias medias. Además, es conveniente recordar que el nivel está en ponderación A, la cual penaliza fuertemente a las bajas frecuencias.

En la zona media de la pista se observa como el nivel de la clase P2.1 es más de 1 dB mayor que el nivel de la clase S5.1. Este es el punto donde la clase



de aeronave P2.1 empieza la maniobra de subida, a unos 900 metros del comienzo de despegue. También se observa que justo después del punto antes mencionado el nivel de la clase S5.1 es más de 2 dB mayor que el nivel de la clase P2.1. Esta diferencia de nivel coincide con el punto donde la clase S5.1 empieza la maniobra de subida, a unos 1100 metros del comienzo de despegue.

A medida que nos alejamos de la pista y de la trayectoria de la aeronave los valores de la diferencia son positivos indicando que la clase P2.1 tiene mayores niveles que la clase S5.1.

## **6. Análisis de la variable meteorológica viento en SoundPlan**

Mediante el uso del estándar ECAC.CEAC Doc 29 en el programa SoundPlan existe la posibilidad de modificar la variable de cálculo *tipo de viento* (Wind type). Solo existen dos tipos posibles de viento:

- Calma (*Calm*)
- Moderado (*Moderate*)

El escenario de cálculo para analizar el efecto del viento sobre los niveles Lden ha sido el mismo escenario utilizado para la obtención del mapa de ruido del Aeropuerto de Pamplona con datos de tráfico del año 2005.

Para obtener el gráfico que muestra las diferencias de los niveles Lden se ha realizado una simulación con el tipo de viento en calma y otra con el tipo de viento moderado. La operación realizada ha sido la simulación con viento moderado menos la simulación con viento en calma en dB.

A continuación se puede observar en la siguiente figura las diferencias de los niveles Lden entre las dos simulaciones.

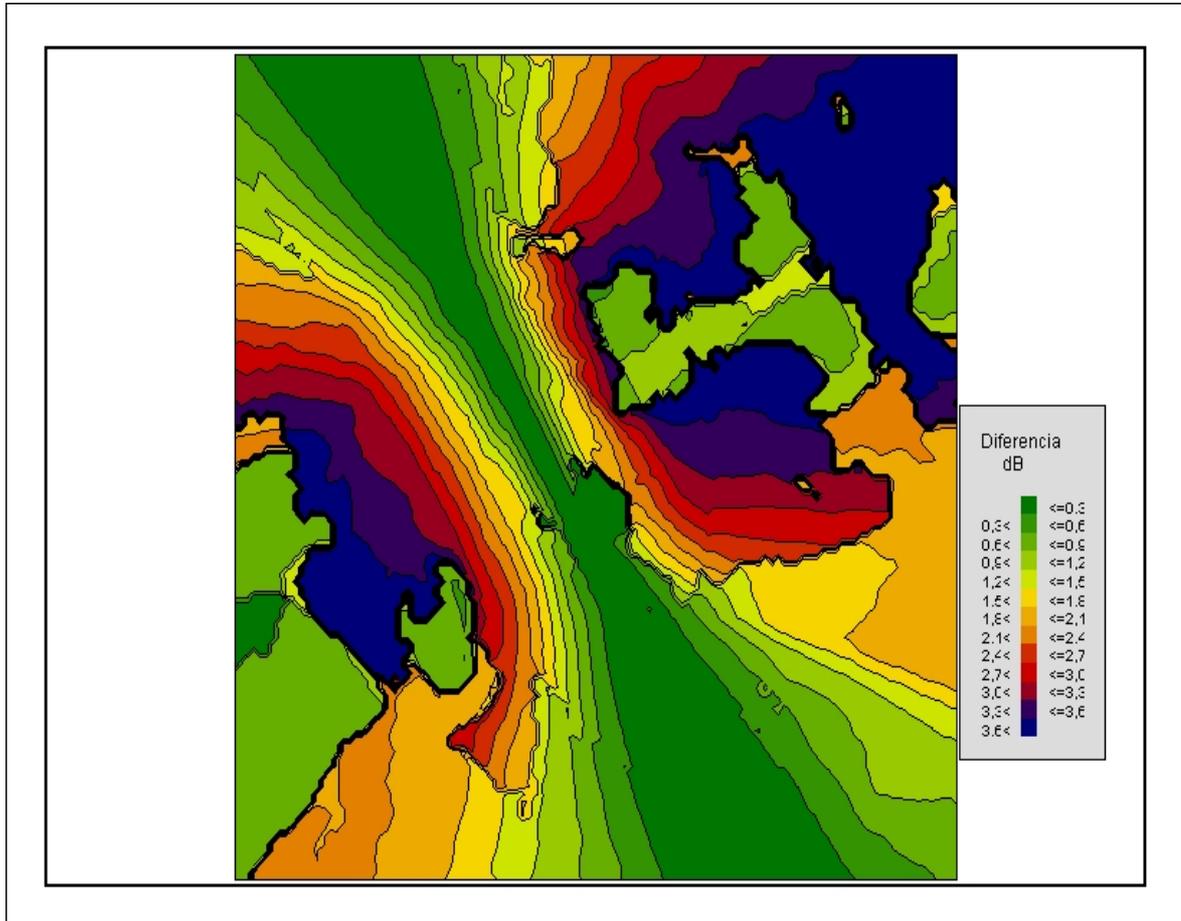


Figura 104: Diferencias (dB) Lden. Viento moderado vs calma

Las zonas donde están las trayectorias tanto de despegue como de salida presentan una variación inferior a 0.3 dB. Esto quiere decir que el efecto del viento en las zonas donde las aeronaves están cerca no tiene importancia, ya que no altera los niveles de inmisión.

En áreas alejadas de las trayectorias de las aeronaves y del aeropuerto se observa que las diferencias en los niveles aumenta en más de 1 dB hasta llegar a los 3 dB, demostrando que el tipo de viento moderado tiene una componente de

velocidad mayor que el viento de tipo calma, de manera que se favorece la propagación del sonido.

También se observan zonas con un comportamiento errático que hacen que se pierda la continuidad en los niveles de diferencia. Esas zonas indican que el factor de viento de tipo moderado comparte una relación con los niveles de elevación de la zona.

Para ver la relación entre la gráfica de diferencias y la altitud de la zona se muestra a continuación (Figura 105) los niveles de elevación del área de cálculo.

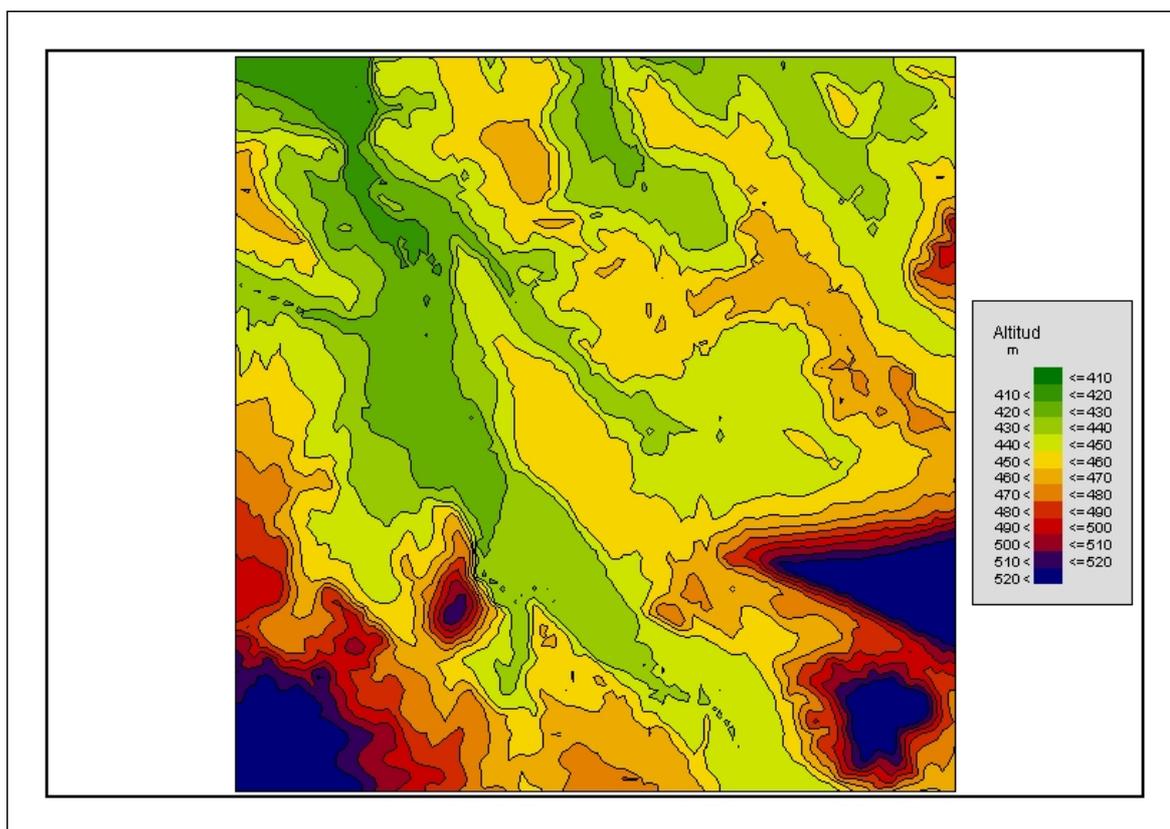


Figura 105: Líneas de elevación del mapa simulado

Se observa que en las zonas con cambios abruptos de altitud las diferencias de los niveles Lden pueden llegar a ser inferiores a 1.2 dB, explicando de esta manera el comportamiento errático de la gráfica de diferencias.

## 7. Conclusiones

Para evaluar el impacto acústico de las infraestructuras aeroportuarias con el programa SoundPlan se realizó un manual titulado “*Manual para el manejo del módulo de ruido de aeronaves del programa SoundPlan*”. Este manual favorece la realización efectiva de mapas de ruido en aeropuertos, permitiendo de esta manera el cumplimiento de la Directiva Europea 2002/49/CE y la transposición al ordenamiento jurídico español mediante la Ley de Ruido del 17 de noviembre de 2003 y los Reales Decretos: RD 1513/2005 y RD 1367/2007, donde se obliga a realizar los mapas de ruido de grandes infraestructuras aeroportuarias.

Se realizó un mapa de ruido del Aeropuerto de Pamplona con el programa SoundPlan y se comparó con el mapa de ruido hecho por AENA con el programa INM. Las comparaciones de las isófonas del Lden y Ln se realizaron tanto en la cabecera 15 (norte) como la cabecera 33 (sur), encontrándose las siguientes diferencias:

- **Cabecera 15 zona de Esquíroz:**
  - La isófona 60 del Lden del mapa de AENA supera entre 2 y 3 dB a la isófona 60 del mapa simulado. También se observa que dichas isófonas tienen una diferencia de 50 metros aproximadamente.
  - La isófona 50 del Ln del mapa de AENA supera en 4.2 dB a la isófona 50 del mapa simulado. También se observa que dichas isófonas tienen una diferencia aproximada de 100 metros.
- **Cabecera 33 zona sur de la pista:**
  - La isófona 65 del Lden del mapa de AENA supera en aproximadamente 1 dB a la isófona 65 del mapa simulado. La isófona 65 del mapa de AENA se

extiende 140 metros más que la isófona del mapa simulado.

- La isófona 60 del Lden del mapa simulado supera en unos 0.5 dB a la isófona 60 del mapa de AENA. También se observa que dicha isófona del mapa simulado afecta algunas viviendas del Municipio de Noaín.
- La isófona 55 del Ln del mapa de AENA es 1 dB mayor que la isófona 55 del mapa simulado. La isófona 5 del mapa de AENA se extiende 200 metros más que la isófona 55 del mapa simulado.
- Las isófonas 50 del Ln tanto del mapa de AENA como del mapa simulado poseen gran similitud.

Las simulaciones del mapa del Aeropuerto de Pamplona hechas para los años 2007 y 2009 se compararon con la simulación del mapa del año 2005. El índice a comparar fue el Lden y estos fueron los resultados:

- Los niveles Lden del año 2007 superan en casi 2 dB a los niveles Lden del año 2005 en zonas cerca de la pista y trayectorias de las aeronaves. A distancias mayores las diferencias se acercan a 1 dB.
- Los niveles Lden del año 2005 han sido mayores que los niveles Lden del año 2009. Cerca de la pista se presentan diferencias por debajo de los 3 dB. En zonas más alejadas a la pistas las diferencias superan los 3 dB.

Tales diferencia son producto de la variación del número de eventos en esos años y de la variación de la flota o tipos de aeronaves presentes en dichos años.

Teniendo en cuenta los valores experimentales medidos durante una semana en el Aeropuerto de Pamplona en el año 2007 por el personal del Laboratorio de Acústica del Departamento de Física de la Universidad Pública de

Navarra, se ha comprobado la fiabilidad de la simulación del mapa del año 2007. Los resultados fueron los siguientes:

- Salvo los días Sábado y Jueves todos los demás días tienen el Lden entre las isófonas 65 y 70 marcadas por el mapa simulado.
- La media del Lden de toda la semana tiene un valor de 65.3, por lo que se encuentra entre las isófonas 65 y 70 del mapa simulado.

El análisis comparativo entre los niveles LAmax provocados una aeronave con motor de hélice y otra con motor a reacción han dado los siguientes resultados:

- **En operación de aterrizaje:**

- La aeronave con motor de hélice supera en más de 3 dB a la aeronave con motor a reacción cerca de la pista.
- En zonas más alejadas se presentan diferencias de hasta 2 dB.

- **En operación de despegue:**

- En zonas cercanas a la pista los niveles LAmax de la aeronave con motor a reacción son mayores que los niveles de la aeronave con motor de hélice. Las diferencias están entre 1.2 y 0.8 dB.
- A unos 900 metros del comienzo de despegue la aeronave con motor de hélice tiene unos niveles LAmax que superan en más de 1 dB a los niveles de la aeronave con motor a reacción.
- A unos 1100 metros del comienzo de despegue la aeronave con motor a reacción tiene unos niveles LAmax que superan en más de 2 dB a los

niveles de la aeronave con motor de hélice.

- En zonas alejadas de la pista los niveles L<sub>max</sub> de la aeronave con motor de hélice superan siempre a los niveles de la aeronave con motor a reacción. Las diferencias llegan a más de 1 dB.

En el análisis de la variable meteorológica viento se observaron los siguientes resultados:

- En zonas cerca de la trayectoria de la aeronave las diferencias de los niveles de L<sub>den</sub> entre las medidas con viento moderado y viento en calma son inferiores a 0.3 dB. Esto indica que la variable meteorológica viento no influye en aquellas zonas cercanas al paso de las aeronaves.
- En zonas alejadas de la pista se observan diferencias de los niveles L<sub>den</sub> de más de 1 dB, incluso llegando a superar en algunos sitios los 3 dB de diferencia. Por lo que se demuestra que el viento moderado favorece la propagación del sonido.
- En las zonas que presentan un cambio de altitud abrupto las diferencias de los niveles L<sub>den</sub> son inferiores a 1.2 dB. De manera que se observa una relación entre el efecto del viento y la elevación de la zona.

## 8. Bibliografía

- *“Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen an zivilen und militärischen Flugplätzen nach dem Gesetz zum Schutz gegen Fluglärm” (AzB), 1975. “Instrucciones para el cálculo de las zonas de ruido en conformidad con la ley para la protección contra el ruido producido por las aeronaves”.*
- *Anleitung zur Berechnung von Lärmschutzbereichen (AzB), 2007. “Instrucciones para el cálculo en zonas de ruido”.*
- Entwurf der neuen zivilen AzB-Flugzeugklassen, 1999. “Extracto de las nuevas clases de la AzB para aviones civiles”.
- Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Flugplätzen (VBUF), 2006. “método de cálculo para medir el impacto acústico en los aeropuertos”.
- Datenerfassungssystem, 2007. “Sistema de adquisición de datos”.
- AzB 2008, das neue verfahren zur berechnung vom fluglärm. Wolfgang Probst. Datakustik. “AzB 2008, los nuevos procedimientos para el cálculo del ruido de las aeronaves”.
- ECAC.CEAC Doc 29. Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, 1997. “Método para calcular el ruido en los alrededores del aeropuerto”.
- ECAC.CEAC Doc 29. Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Volume 1: applications guide, 2005. “Método para calcular el ruido en los alrededores del aeropuerto, Volumen



1: guía de aplicación”.

- ECAC.CEAC Doc 29. Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports, Volume 2: technical guide, 2005. “Método para calcular el ruido en los alrededores del aeropuerto, Volumen 2: guía técnica”.
- SoundPLAN User's Manual, 2008. “Manual de usuario de SoundPLAN”.
- Actualización de los mapas estratégicos de ruido de los grandes aeropuertos, Madrid-Barajas. AENA. 2008.
- Mapas estratégicos de ruido de los grandes aeropuertos, Aeropuerto de Bilbao. AENA. 2007.
- “ICAO CIRCULAR 205-AN/1/25:1988”. Recommended method for computing noise contours around airports. 1988. “Método recomendado para calcular el ruido en los alrededores de los aeropuertos”.
- Annex 16 ICAO, 1993.
- Directiva Europea 2002/49/CE.
- Real Decreto RD 1513/2005.
- Real Decreto RD 1367/2007.
- Siedlungsbeschränkungsbereiche an Flugplätzen in Mecklenburg-Vorpommern, 2005. “Establecimiento de zonas límites en aeródromos en Mecklemburgo”.
- RESOLUCIÓN de 18 de junio de 2007, de la Secretaría General para la



Prevención de la Contaminación y el Cambio Climático, por la que se formula declaración de impacto ambiental sobre el proyecto Ampliación del aeropuerto de Pamplona.

- Aufbereitung der Flugbetriebsdaten des Flughafens Zürich nach der Anleitung zur Datenerfassung über den Flugbetrieb (AzD), 2009. EMPA. “El procesamiento de datos para las operaciones del aeropuerto de Zurich siguiendo las instrucciones para la recogida de datos relativos a las operaciones (AZD)”
- Ermittlung der durch An- und Abflüge auf den Flughafen Zürich hervorgerufenen Lärmbelastung, insbesondere auch in der Grenzregion, 2009. Ullrich Isermann, Uta Binder, Rainer Schmid. “Determinación de las llegadas y salidas a la contaminación del ruido en los aeropuertos de Zurich causado, especialmente en la región fronteriza”
- **Páginas web:**
  - Página web de AENA: [www.aena.es](http://www.aena.es).
  - Página web de la ECAC: <https://www.ecac-ceac.org>
  - Página web de la ICAO: <http://www.icao.int>

## 9. Anexos

### 9.1. Algoritmo ejecutado por el programa Soundplan para realizar los cálculos de ruido de aeronaves

El programa SoundPlan basa los cálculos para el ruido de aeronaves en el estándar alemán AzB (*Anleitung zur Berechnung*). A continuación se explicará de manera concreta el algoritmo seguido por el programa para calcular el *nivel de presión sonora* en un punto cercano al aeropuerto.

Según el estándar AzB el nivel  $L_{eq}$  solo depende del nivel  $L_{max}$  de la aeronave cuando la distancia entre el receptor y la trayectoria<sup>18</sup> de la aeronave es perpendicular.

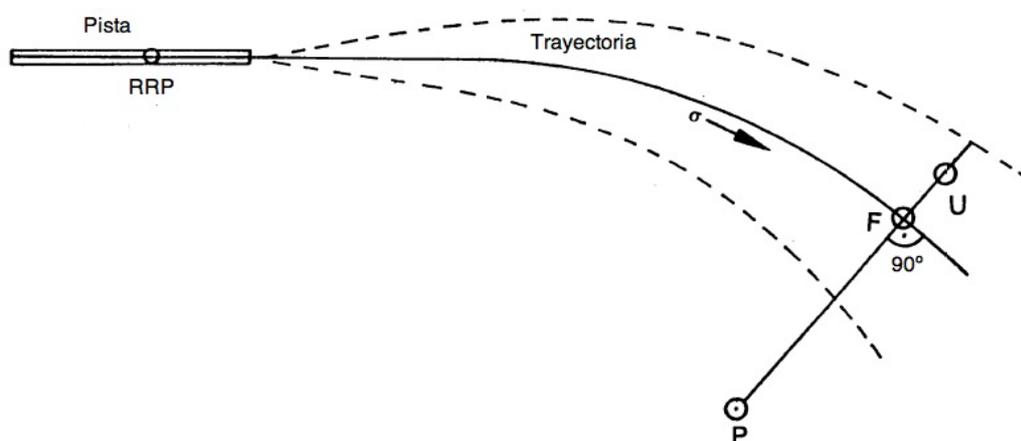


Figura 106: Trayectoria vista desde el plano de referencia de la pista

En la figura anterior (Figura 106) se ha mostrado una trayectoria con una cierta dispersión (corredor). El punto P es el receptor que se encuentra perpendicular a la trayectoria  $\sigma$  en el punto F. La U representa la proyección de la aeronave, su nivel  $L_{max}$  y la duración del ruido  $t$  determinan el valor de inmisión

<sup>18</sup> Entendiéndose como trayectoria la proyección de la ruta de la aeronave sobre el suelo.

en el punto P.

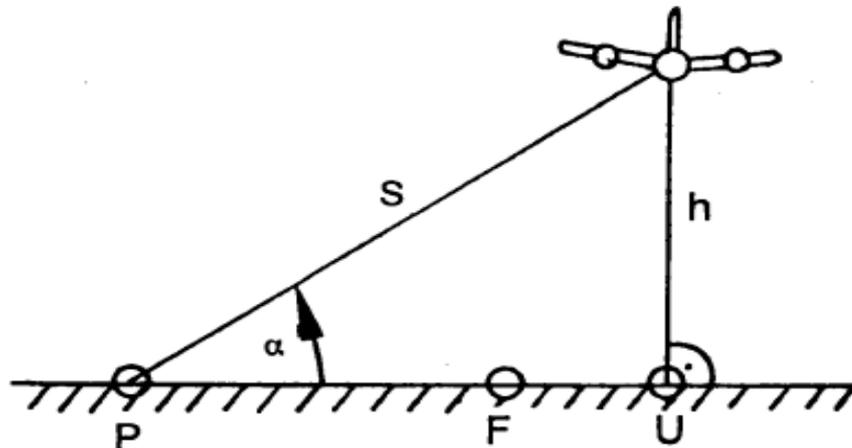


Figura 107: Distancia S entre el receptor y la aeronave

La distancia S entre el receptor y la aeronave determinará la propagación del sonido desde la aeronave hasta el receptor. El valor de S se obtiene mediante el Teorema de Pitágoras.

El nivel de presión sonora  $O_n(s)$  en el receptor P se determina teniendo en cuenta el espectro del sonido de la aeronave para una distancia de referencia  $S_0$ , esta distancia suele ser 300 metros. Para calcular el nivel de presión sonora en el punto de inmisión se tiene en cuenta la siguiente fórmula:

$$O_n(s) = O_n - 20 \lg (s/s_0) - R_n \cdot d_n \cdot (s-s_0).$$

El valor de  $R_n$  indica la directividad de la fuente, en este caso la aeronave. La constante  $d_n$  hace referencia a la absorción del aire.

El valor de  $B_n(s)$  determina las pérdidas de la propagación del sonido por efecto del suelo:

$$B_n(s) = G_n \cdot \frac{R_n \cdot s / s_1}{\sqrt{1 + (R_n \cdot s / s_1)^2}}$$

El valor de  $G_n$  indica la curva asintótica que siguen las pérdidas. El valor de referencia  $S_1$  es igual a 700 metros.

El valor de  $L_A(s)$  es el *nivel de presión sonora* con ponderación A. La suma en bandas de octava se realiza con la siguiente fórmula:

$$L_A(s) = 10 \lg \sum_n 10^{[O_n(s) + A_n]/10}$$

El *nivel de presión sonora* en el punto P sin tener en cuenta el ángulo *alfa* está dado por la fórmula:

$$L_B(s) = 10 \lg \sum_n 10^{[O_n(s) - B_n(s) + A_n]/10}$$

Finalmente, el valor del *nivel de presión sonora* teniendo en cuenta todas las correcciones se determina de la siguiente manera:

$$L(s, \sigma, \alpha) = L_A(s) - c(\alpha) E(s) + Z(\sigma').$$

Donde,

$$c(\alpha) = \begin{cases} 1 - \sin \alpha / \sin \alpha_g & \text{para } \alpha \leq \alpha_g \\ 0 & \text{para } \alpha > \alpha_g \end{cases}$$

$$\alpha_g = 15^\circ.$$

El ángulo alfa de referencia es igual a 15°.

$$E(s) = L_A(s) - L_B(s).$$

El valor de E representa las pérdidas por propagación del suelo y la Z es una corrección en los niveles de emisión debido a los cambios del rendimiento del motor durante el vuelo.

- **Duración del ruido t:**

La duración del ruido se determina con la siguiente fórmula:

$$t(s, \sigma) = \frac{a \cdot s}{V(\sigma') + \frac{s}{b}}$$

Donde,

- Las constantes a y b están definidas en una tabla. Sus valores dependen de la clase de aeronave.
- La velocidad V es la que lleva la aeronave cuando entre éste y el receptor existe una distancia S.

- **Energía:**

La energía en el período de tiempo de seis meses (180 días):

$$A_{ijk} = \frac{1}{T} \left[ 10^{L_k(s_{ijk}(0), \sigma_{ij}, \alpha_{ijk}(0))/13.3} \cdot t_k(s_{ijk}(0), \sigma_{ij}) \right]$$



A partir de este valor de energía se calcula el  $L_{den}$ ,  $L_d$  y  $L_n$ . El índice  $i$  indica el área de afección, la  $j$  el trayecto y la  $k$  indica la clase de aeronave.

## **9.2. Algoritmo utilizado por el programa SoundPlan para implementar el estándar ECAC.CEAC Doc 29**

Para implementar el estándar ECAC.CEAC Doc 29 el programa SoundPlan ejecuta el algoritmo de cálculo anteriormente descrito pero teniendo en cuenta algunas excepciones:

- Las atenuaciones producidas por el suelo y la absorción del aire son calculadas con respecto al documento “*ICAO CIRCULAR 205-AN/1/25:1988*”.
- La duración del ruido  $t$  se multiplica por un factor de 0.5.
- Al calcular la energía  $A_{ijk}$  el valor que divide al nivel  $L_k$  de 13.3 se cambia por el valor 10.

### 9.3. Tipos de aeronaves y su asociación con los grupos de la AzB

TYP10	Bezeichnung	MTOM	AzB	HC-Typ
A109	Agusta A109 (all series)	2894	H1.1	A109K
A109K	Agusta A109K2	2859	H1.1	A109K
A124	Antonov 124	392793	S3.2	B7473
A210	Aquila A210	750	P1.3	C152
A3006	Airbus A300-600, A300B4-600	166684	S6.1	A3103
A30B	Airbus A300B2-1/2/100/200, A300B4-1/2/100/200	159544	S6.1	A3103
A3102	Airbus A310-200	139715	S6.1	A3103
A3103	Airbus A310-300	155492	S6.1	A3103
A318	Airbus A318	63211	S5.2	A319
A319	Airbus A319	66853	S5.2	A319
A320	Airbus A320	74636	S5.2	A320
A321	Airbus A321	86102	S5.2	A321
A3302	Airbus A330-200	229387	S6.1	A3302
A3303	Airbus A330-300	220900	S6.1	A3302
A3402	Airbus A340-200	257414	S6.3	A3403
A3403	Airbus A340-300	269706	S6.3	A3403
A3405	Airbus A340-500	371636	S6.3	A3403
A3406	Airbus A340-600	366760	S6.3	A3406
AA5	Grumman American AA5	1030	P1.3	BE35
AC11	Rockwell Commander AC111, AC112, AC114	1746	P1.3	C182
AC690	Rockwell Turbo Commander 690/695	4890	P1.4	BE20
AEST	Ted Smith Aerostar 600/601	2971	P1.4	C340
AJ25	Astra 1125-IW	12393	S5.1	HS257
AN12	Antonov An12	62147	P2.1	AN12
AN2	Antonov An2	5700	P1.4	BE35
AN26	Antonov An26	23470	P2.1	AN12
AS02	FFA AS 202 Bravo	1010	P1.3	C150
AS16	Schleicher ASK 16	740	P1.1	AS16
AS332	Aerospatiale AS-332/SA-332 Super Puma	9124	H2.1	AS332
AS350	Aerospatiale AS-350 Ecureuil	2340	H1.1	SA316
AS355	Aerospatiale AS-355 Ecureuil II	2638	H1.1	SA316
AS365	Aerospatiale AS-365, SA-365 Dauphin, Dauphin2	4261	H1.2	SA316
AS532	Aerospatiale AS-532 Cougar	9000	H2.1	AS332
AT423	ATR42-300	16803	P2.1	AT42
AT425	ATR42-500	18610	P2.1	AT42
AT72	ATR72 (all series)	22143	P2.1	AT42
AT721	ATR72-100	21833	P2.1	AT42
AT722	ATR72-200	21860	P2.1	AT42
B105	MBB/CASA BO-105	2888	H1.1	B206
B190	Beech 190, 1900C, 1900D	7739	P2.1	BE20
B206	Bell 206 Jet Ranger, 206L Long Ranger, 206LT Twin Ranger	1651	H1.1	B206
B222	Bell 222, 222UT	4050	H1.2	B206
B350	Beech Super King Air 350, 350C	6911	P2.1	BE20
B407	Bell B407	2268	H1.1	B206
B430	Bell B430	4575	H1.1	A109K
B707F	Boeing 707F	148011	S4	B707F
B7172	Boeing 717-200	51710	S5.2	FK70
B727J	Boeing 727 mit JT8D-207/209/217/219	86194	S5.3	MD83
B727Q	Boeing 727 mit RR Tay 610/615	79152	S5.2	FK10
B7372	Boeing 737-200	52841	S1.2	DC930
B7376	Boeing 737-600	59937	S5.2	B73V
B7377	Boeing 737-700	68213	S5.2	B73S
B7378	Boeing 737-800	77296	S5.2	B73F
B7379	Boeing 737-900	76886	S5.2	B73F
B737A	Boeing 737-200 Advanced	53622	S1.2	B737A
B73F	Boeing 737-400	65636	S5.2	B73F
B73S	Boeing 737-300	60451	S5.2	B73S
B73V	Boeing 737-500	55452	S5.2	B73V
B7471	Boeing 747-100	333576	S3.2	B7473
B7472	Boeing 747-200	370307	S3.2	B7473
B7474	Boeing 747-400	392265	S7	B7474
B74SP	Boeing 747SP	315772	S7	B74SP
B7572	Boeing 757-200	107245	S5.2	B7572
B7672	Boeing 767-200	161415	S6.1	B7672
B7673	Boeing 767-300	181124	S6.1	B7673
B7674	Boeing 767-400	192001	S6.1	B7673
B7772	Boeing 777-200	283669	S6.1	B7772
BA10	British Aerospace BAe-125 -1000	14809	S5.1	HS257
BA31	British Aerospace Bae-3102 Jetstream 31	6992	P2.1	SF34
BA46	BAe 146-100, 200, 300	42141	S5.1	RJ100
BE18	Beech Model 18	4581	P1.4	DC3



(Forts.)

TYP10	Tipo de aeronave	MTOM	AzB	RC-Typ
BE20	Beech Super King Air 200	5820	P2.1	BE20
BE23	Beech 23, A23, C23 Musketeer	1131	P1.3	BE35
BE30	Beech Super King Air 300	6285	P2.1	BE20
BE33	Beech 33, C 33 Debonair	1861	P1.3	BE35
BE35	Beech 35, A35, B35, C35, V35 Bonanza	1634	P1.3	BE35
BE36	Beech 36, A36 Bonanza, 36TC Bonanza(turbo)	1916	P1.3	BE35
BE55	Beech 55, A55, B55, C55 Baron	2716	P1.4	C340
BE58	Beech 58, 58P Baron	2822	P1.4	C340
BE60	Beech 60, A60, B60 Duke	3701	P1.4	BE60
BE9L	Beech King Air 90	4754	P1.4	BE20
BE9T	Beech King Air F-90	4987	P1.4	BE20
BJ40	Beech 400 Beechjet	7842	S5.1	C550
BU31	Bücker Bü-131 Jungmann	674	P1.3	C152
BX2	Brändli BX-2 Cherry	550	P1.3	AS16
C130	Lockheed C-130, CC-130, HC-130 Hercules (L-382)	70532	P2.1	C130
C150	Cessna 150	833	P1.3	C150
C152	Cessna 152	831	P1.3	C152
C172	Cessna 172 Skyhawk	1460	P1.3	C172
C177	Cessna 177 Cardinal	1693	P1.3	C182
C182	Cessna 182 Skylane	1738	P1.3	C182
C185	Cessna 185 Skywagon	1668	P1.3	C182
C208	Cessna 208 Caravan	3920	P1.4	PC12
C210	Cessna 210 Centurion, P210 Pressurised	1946	P1.3	C182
C303	Cessna 303 Crusader	2718	P1.4	C340
C310	Cessna 310, 310R, 310Q	2715	P1.4	C340
C320	Cessna 320 Skyknight	2786	P1.4	C340
C340	Cessna 340	2899	P1.4	C340
C402	Cessna 402	2905	P1.4	C340
C404	Cessna 404 Titan	3867	P1.4	C421
C414	Cessna 414	3253	P1.4	C340
C421	Cessna 421 Golden Eagle	3646	P1.4	C421
C425	Cessna 425 Conquest I	3968	P1.4	PC12
C441	Cessna 441 Conquest II	4739	P1.4	BE20
C500	Cessna 500 Citation I	5714	S5.1	C550
C501	Cessna 501 Citation 1SP	5904	S5.1	C550
C525	Cessna 525 CitationJet, Citation CJ1	5327	S5.1	C550
C550	Cessna 550 Citation II	6608	S5.1	C550
C551	Cessna 551 Citation II/SP	6104	S5.1	C550
C560	Cessna 560 Citation V	8256	S5.1	C550
C650	Cessna 650 Citation III/VI/VII	10138	S5.1	C650
C680	Cessna 680 Citation Sovereign	14820	S5.1	LR55
C750	Cessna 750 Citation X	16590	S5.1	CL65
CL60	CL-600/601/604 Challenger, Canadair Regional Jet CRJ-100	20924	S5.1	CL65
CL65	Canadair Regional Jet CRJ-200 (CL-65)	23822	S5.1	CL65
CL70	Canadair Regional Jet CRJ-700, Bombardier CDJ-700	33937	S5.1	FK70
CN35	CASA CN-35	16000	P2.1	SF34
CONI	Lockheed C-121 Constellation, L-740/L1049 Super Constellation	53750	P2.1	DC3
CP23	Mudry CAP-230/231/232	814	P1.3	C172
D105	Jodel DR1050	750	P1.3	C150
D2	Jodel U2V	700	P1.3	BE35
D228	Dornier Do-228, Fairchild Dornier 228	6222	P2.1	SF34
D328	Dornier Do-328, Fairchild Dornier 328	14021	P2.1	D328
D328J	Dornier/Fairchild-Dornier 328-300 Jet	15547	S5.1	LR55
DA10	Dassault Falcon 10	9717	S5.1	DA20
DA20	Dassault Falcon 20 Mystere	13278	S5.1	DA20
DA40	Diamond DA40 Diamond Star	1741	P1.3	C172
DA50	Dassault Falcon 50	18490	S5.1	DA90
DA90	Dassault Falcon 90	21554	S5.1	DA90
DC103	McDonnell Douglas DC-10-30	258145	S6.2	DC10
DC6	Douglas DC-6 Liftmaster	47565	P2.1	DC3
DC860	Douglas DC-8-60/62/63	159078	S4	B707F
DH6	De Havilland Canada DHC-6 Twin Otter	5701	P2.1	BE20
DH8	De Havilland Canada DHC-8 Dash 8 (all series)	15717	P2.1	DH8
DH81	De Havilland Canada DHC-8-100/200 Dash 8	16168	P2.1	DH8
DH83	De Havilland Canada DHC-8-300 Dash 8	19533	P2.1	DH8
DH84	De Havilland Canada DHC-8-400 Dash 8	29032	P2.1	DH8
DR10	Jodel DR-100/105/1050/1051 Ambassadeur, Sicile	814	P1.3	C150
DR25	Jodel DR250-160, DR253/253B Regent	966	P1.3	BE35
DR38	Robin DR-360 Chevalier, DR-380 Prince	1228	P1.3	BE35
DR40	Robin DR-400-100/120/140/160/180 Dauphin, Remorqueur	1089	P1.3	BE35
DR42	Robin DR-400-120/140 Dauphin	975	P1.3	C150
DR44	Robin DR-400-140B Dauphin 4	1000	P1.3	C150
DR48	Robin DR-400/180R Remorqueur	1043	P1.3	C150
DV20	HOAC DV-20 Katana	779	P1.3	AS16
E120	Embraer EMB-120 Brasilia	11966	P2.1	SF34
E121	Embraer EMB-121 Xingu	5670	P1.4	SF34
E135	Embraer ERJ-135	21974	S5.1	E145
E145	Embraer ERJ-145	21202	S5.1	E145
E170	Embraer ERJ-170	37054	S5.1	FK70
E230	Extra 230	1000	P1.3	C152
E300	Extra 300/330/350	974	P1.3	C152
E400	Extra 400	2000	P1.3	C152



(Forts.)

TYP10	Bezeichnung	MTOM	AzB	RC-Typ
EAGL	Christen Eagle, Eagle II	925	P1.3	C152
EC120	Eurocopter EC-120/120B Colibri	1814	H1.1	SA316
EC135	Eurocopter EC-135P-1/2/T-1	2863	H1.1	SA316
EC145	Eurocopter EC-145	3585	H1.2	SA316
EN28	Enstrom F-28, Enstrom 280 Shark	1259	H1.1	R44
F260	SIAl-Marchetti SF-260E/F, Warrior	1102	P1.3	C182
F2TH	Dassault Falcon 2000	17484	S5.1	F2TH
FK10	Fokker 100	44381	S5.1	FK10
FK27	Fokker F-27-100/400/600 Friendship	20265	P2.1	AT42
FK50	Fokker 50	20906	P2.1	FK50
FK70	Fokker 70	37975	S5.1	FK70
G109	Grob G109/109B	858	P1.1	C152
G115	Grob G115	1089	P1.3	C152
G2	Grumman G-1159 Gulfstream II	30130	S5.1	MD80
G3	Gulfstream Aerospace G-1159A Gulfstream III	31622	S5.1	MD80
G4	Gulfstream Aerospace G-1159C Gulfstream IV	33789	S5.1	FK70
G5	Gulfstream Aerospace G-1159D Gulfstream V	41518	S5.1	FK70
GALX	Israel IAI-1126 Galaxy	16301	S5.1	LR55
GLAS	Stoddart Hamilton Glasair II-S/III-SH	974	P1.3	C172
GLEX	Bombardier BD-700 Global Express	43569	S5.1	FK70
H269	Hughes 269, 269C	934	H1.0	R44
H36	Hoffmann H36 Dimona	825	P1.1	C152
H500	Hughes 369D/HS, 500/D/E, 530F	1541	H1.1	R44
H60	Sikorsky H-60, SH-60, UH-60 Black Hawk	10500	H2.2	AS332
HK36	Diamond HK36 TC Super Dimona	770	P1.1	C152
HR20	Robin HR200-100/120	832	P1.3	C172
HS251	Hawker Siddeley HS-125-1/2/3/400/600	11078	S5.1	LR25
HS257	Hawker Siddeley HS-125-700/800	12475	S5.1	HS257
IL62	Ilyushin Il-62, 62M	163848	S1.1	TU548M
IL76	Ilyushin Il-76/76M/T/TD, Ilyushin Il-78/82	187169	S1.1	TU54B
J3C	Piper J-3 Cub	575	P1.3	C150
LNC2	Lancair 320	828	P1.3	C152
LOEZ	Rutan Long-Eze	749	P1.3	BE35
LR24	Learjet 24	6303	S5.1	LR25
LR31	Learjet 31	7866	S5.1	LR35
LR35	Learjet 35	8298	S5.1	LR35
LR36	Learjet 36	8301	S5.1	LR35
LR40	Learjet 40	9952	S5.1	LR35
LR45	Learjet 45	9713	S5.1	LR35
LR55	Learjet 55	9856	S5.1	LR55
LR60	Learjet 60	10894	S5.1	LR55
M20	Mooney M-20A/B/C/E/F/J/L/R, R Ovation	1747	P1.3	C172
M20T	Mooney M-20TK/TM/TS	1620	P1.3	BE35
MD11	McDonnell Douglas MD-11, MD-11F	283397	S6.2	MD11
MD80	McDonnell Douglas MD-80/81/82	66194	S5.3	MD80
MD81	McDonnell Douglas MD-81 (DC-9-81)	65532	S5.3	MD80
MD82	McDonnell Douglas MD-82 (DC-9-82)	67101	S5.3	MD80
MD83	McDonnell Douglas MD-83 (DC-9-83)	72439	S5.3	MD83
MD87	McDonnell Douglas MD-87 (DC-9-87)	63674	S5.3	MD87
MD90	McDonnell Douglas MD-90	71957	S5.2	A319
MD900	McDonnell Douglas MD900	2862	H1.1	R44
MU2	Mitsubishi MU-2/2B Marquise	5262	P1.4	SF34
MU30	Mitsubishi MU-300 Diamond	7182	S5.1	C550
P180	Piaggio P-180 Avanti	5179	P1.4	PC12
P68	Partenavia P.68, P.68B/C/TC Observer	2008	P1.4	C421
PA11	Piper PA-11 Cup Special	580	P1.3	C150
PA18	Piper PA-18 Super Cub	795	P1.3	C152
PA23	Piper PA-23-160 Apache, -250 Actec, Turbo Actec	2670	P1.4	C182
PA24	Piper PA-24 Comanche	1683	P1.3	C172
PA28	Piper PA-28-150/160/180 Archer, Cherokee	1558	P1.3	BE35
PA28R	Piper PA-28R-180/200 Cherokee Arrow	1746	P1.3	C182
PA28T	Piper PA-28R-201T Turbo Arrow III	1566	P1.3	C182
PA31	Piper PA-31-350 Navajo	3286	P1.4	BE60
PA31T	Piper PA-31T Cheyenne, PA-31T-620 Cheyenne II	4406	P1.4	BE20
PA32	Piper PA-32 Cherokee Six/Saratoga	1848	P1.3	BE35
PA34	Piper PA-34 Seneca II/III/IV/V	2051	P1.4	C182
PA38	Piper PA-38-112 Tomahawk	839	P1.3	BE35
PA42	Piper PA-42-720 Cheyenne III, PA-42-1000 Cheyenne IV	5392	P1.4	BE20
PA44	Piper PA-44-180 Seminole	1917	P1.3	C182
PA46	Piper PA-46 Malibu	2028	P1.4	C182
PC12	Pilatus PC-12	4697	P1.4	PC12
PC6	Pilatus PC-6A/B/C Turbo Porter	2734	P1.4	PC7
PC7	Pilatus PC-7 Turbo Trainer	2096	P1.4	PC7
PRM1	Raytheon Premier 1	5951	S5.1	C550
R22	Robinson R22	738	H1.0	B206
R300	Robin R-3000/3100/3120/3140	1150	P1.3	BE35
R44	Robinson R44	1282	H1.1	R44
R90R	Ruschmeyer R-90-230FG/RG	1567	P1.3	C182
RA50F	Reims F150, FA150	731	P1.3	C150
RA72M	Reims F172M	1043	P1.3	BE35
RA77	Reims F177RG Cardinal	1270	P1.3	C182
RJ100	BAe Avro RJ-100 (146-RJ100)	44758	S5.1	RJ100



(Forts.)

TYP10	Bezeichnung	MTOM	AzB	RC-Typ
RJ70	BAe Avro RJ-70 (146-RJ70)	41911	S5.1	RJ100
RJ85	BAe Avro RJ-85 (146-RJ85)	43494	S5.1	RJ100
S208	SIAI-Marchetti S-208	1675	P1.3	C182
S601	Aerospatiale SN-601 Corvette	6903	S5.1	HS257
S76	Sikorsky S-76	5294	H2.1	AS332
SA315	Aerospatiale SA-315 Lama	1957	H1.1	SA316
SA316	Aerospatiale SA-316 Alouette III	2144	H1.1	SA316
SB20	Saab 2000	22943	P2.1	SB20
SBR1	North American/Rockwell NA-265 Sabreliner	10817	S5.1	DA20
SF25	Scheibe SF-25 Falke, Super Falke, C2000	888	P1.1	AS16
SF34	Saab 340, SF340A/B	13086	P2.1	SF34
SR20	Cirrus SR-20	1966	P1.3	C172
SW3	Fairchild/Swearingen SA-226T/TB Merlin 3	6336	P2.1	AT42
SW4	Fairchild/Swearingen SA-226TC, SA-227AC Merlin 4, Metro	6793	P2.1	AT42
T28G	North American T-28 Trojan, Fennec	3798	P1.4	P3
TB10	Socata TB-10 Tobago	1224	P1.3	C172
TB20	Socata TB-20 Trinidad	1712	P1.3	C182
TB9	Socata TB-9 Tampico	1530	P1.3	C172
TBM7	Socata TBM-700	3040	P1.4	PC7
TU34A	Tupolev Tu-134A-3	48370	S1.1	TU34A
TU54M	Tupolev Tu-154M	100268	S5.3	TU54M
VELO	Velocity 173RG	1089	P1.3	C182
VEZE	Rutan Vari-Eze	586	P1.3	BE35
VG21	Varga 2150/2180	1983	P1.3	C152
YK40	Yakovlev Yak-40	16402	S1.0	TU54M
YK42	Yakovlev Yak-42/142	56559	S1.1	YK42
Z43	Zlin Z-43	1233	P1.3	BE35
Z50	Zlin Z-50L	1000	P1.3	C172
C510	Cessna 510 Mustang	3921	S5.1	C550
C560X	Cessna 560XL Citation Excel	10000	S5.1	C550
CL30	Bombardier BD-100 Challenger 300	18000	S5.1	E145
CL90	Canadair CL-600 2D24 Regional-Jet CRJ-900	36500	S5.1	FK70
DA42	Diamond DA-42 Twin Star	1700	P1.3	BE60
E190	Embraer ERJ-190	51000	S5.1	FK70
EC130	Eurocopter EC-130	2400	H1.1	SA316
EDGE	Zivko Edge 540K	1000	P1.3	BE35
PA22	Piper PA-22	906	P1.3	C172
RF6	RF6	907	P1.3	C152
RV4	RV-4	700	P1.3	C172
SIRA	Tecnam P2002JF Sierra	580	P1.3	C152
A139	Agusta AB-139	6400	H2.1	A109K
COL3	Columbia LC-41-550FG	1633	P1.3	BE35
G150	Gulfstream Aerospace G150	12000	S5.1	HS257
HA4T	Hawker 4000	17010	S5.1	LR55
L5	Stinson L-5	1000	P1.3	C172
MCR1	Dyn-Aero MCR01	750	P1.3	C152