

A collection of approximately 15 squares in three shades of blue and grey, scattered across the top half of the slide.

**3.3.b.**

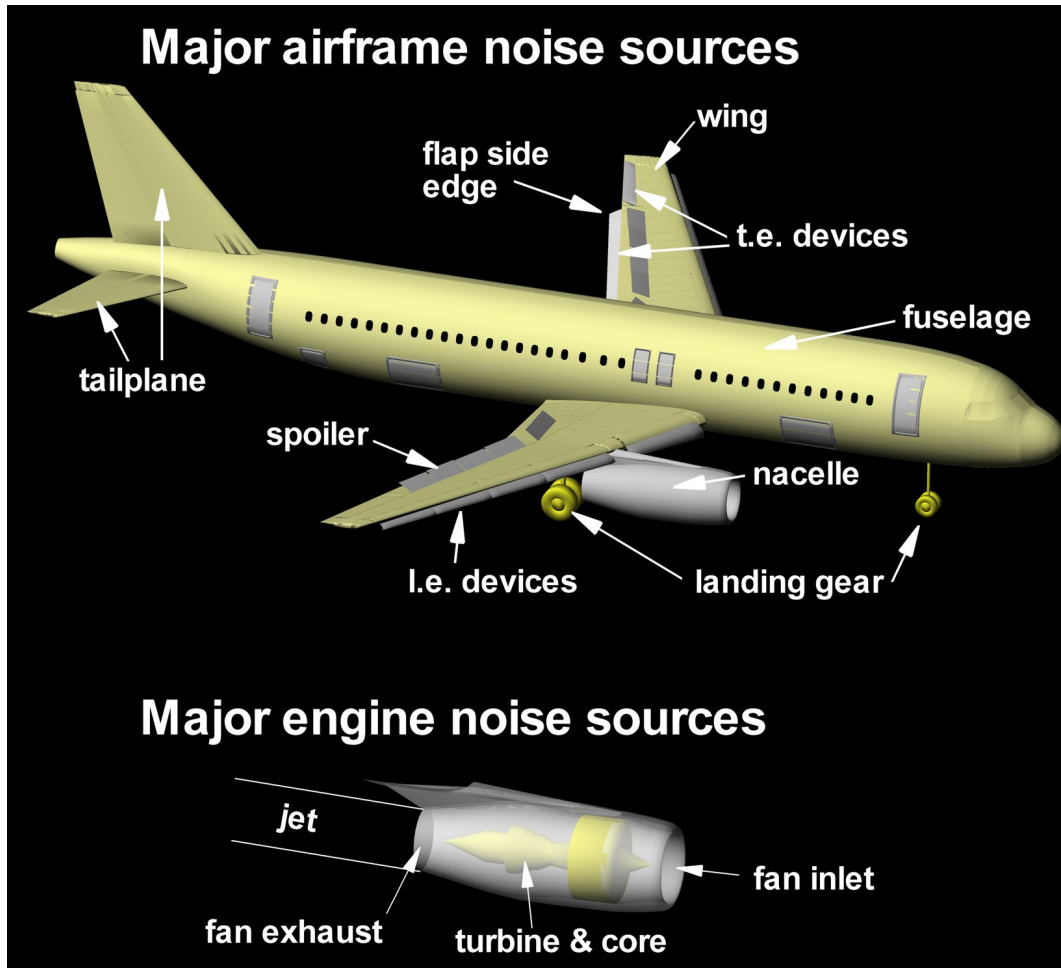
# **Ruido de tráfico aéreo**

Métodos de cálculo

**Eduard Puig**

# FUENTES DE RUIDO

Las fuentes productoras de ruido en aeronaves son:



La fuente principal es el motor. Tipos de motores :

- Motor de hélices
- Motor turbo-jet
- Motor turbo-hélice
- Motor Turbo-fan

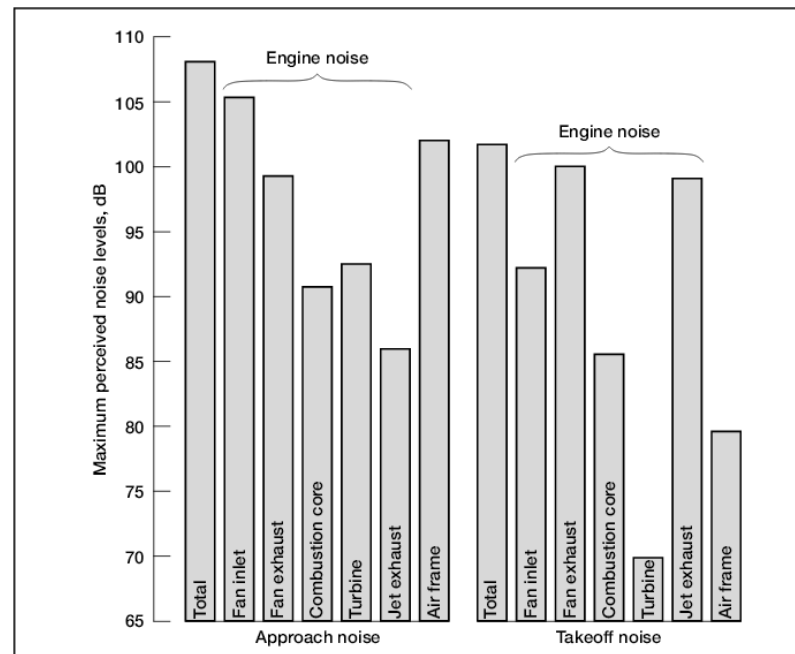
*Fuente: QICE PROJECT*

# FUENTES DE RUIDO

Durante los movimientos de aterrizaje y despegue, que son los movimientos que suelen crear mas problemas, por la proximidad de viviendas a los aeropuertos, una fuente importante de ruido es el aerodinámico, debido a los flaps y las turbulencias que se generan alrededor de estos (especialmente durante el aterrizaje).



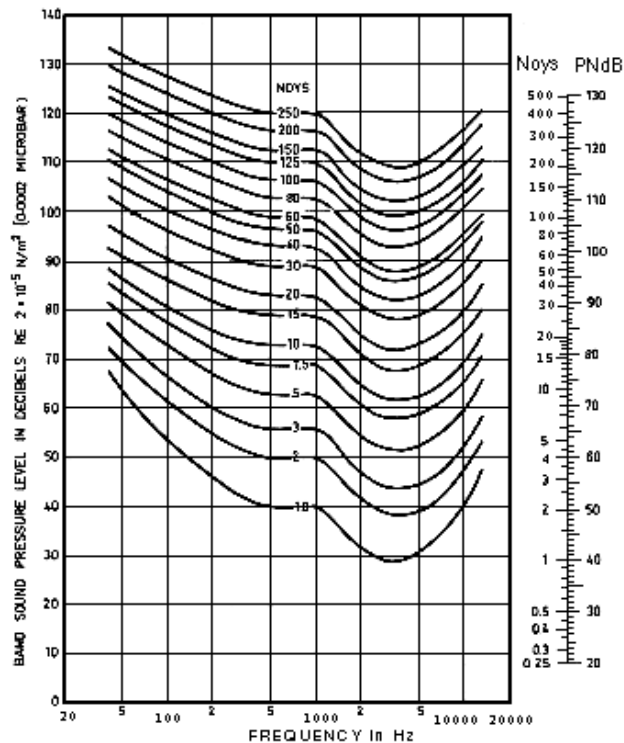
Fuente: ICCAIA



Fuente: NASA

# FUENTES DE RUIDO

La evaluación del ruido producido por aeronaves es complejo, en primer lugar por las diferentes configuraciones y trayectorias que puede realizar un avión, que modifican sustancialmente los niveles que generan los aviones, y segundo por el gran número de operaciones alrededor de un aeropuerto, con múltiples tipos de aviones y características (como diferentes tipos de propulsores).



Se han desarrollado métodos que pretenden valorar mejor la molestia debida a las aeronaves:

- PNL – nivel de ruido percibido
- EPNL – nivel efectivo de ruido percibido

*Fuente:* K.D. Kryter, "The Meaning and Measurement of Perceived Noise Level,"

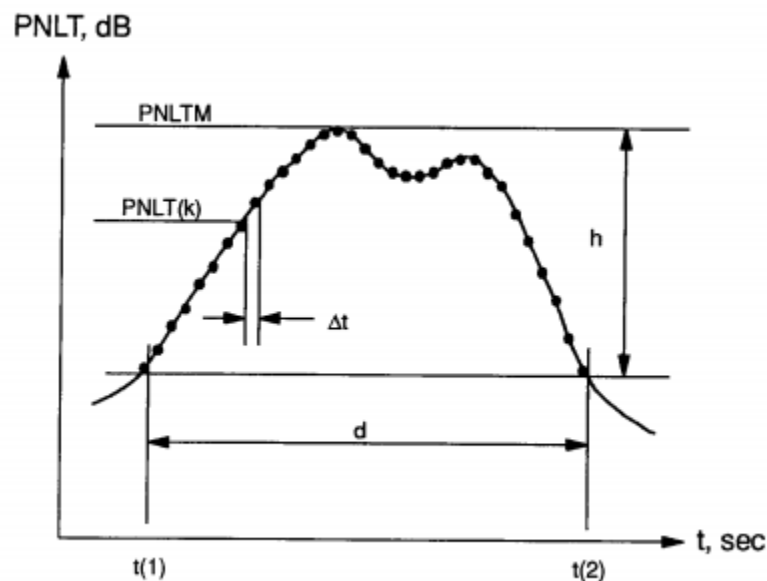
# FUENTES DE RUIDO

El nivel efectivo de ruido percibido (EPNL), se obtiene a partir de espectros en 1/3 de octava entre 50 Hz y 10 KHz, medidos cada 0,5 sg el nivel PNL.

$$EPNL = PNLT_{max} + D$$

Para cada espectro medido, se calcula una corrección C, debido a la presencia de tonos puros:

$$PNLT, k = PNL, k + C, k$$



Finalmente se aplica una corrección por la duración del evento (D), que se calcula en función de los valores PNL que están 10 dB por debajo del PNLT<sub>max</sub>

$$D = 10 \log \left[ \left( \frac{1}{T} \right) \int_{t(1)}^{t(2)} \text{antilog} \frac{PNLT}{10} dt - PNLT_{max} \right]$$

Fuente: ECAC-CEAC DOC29

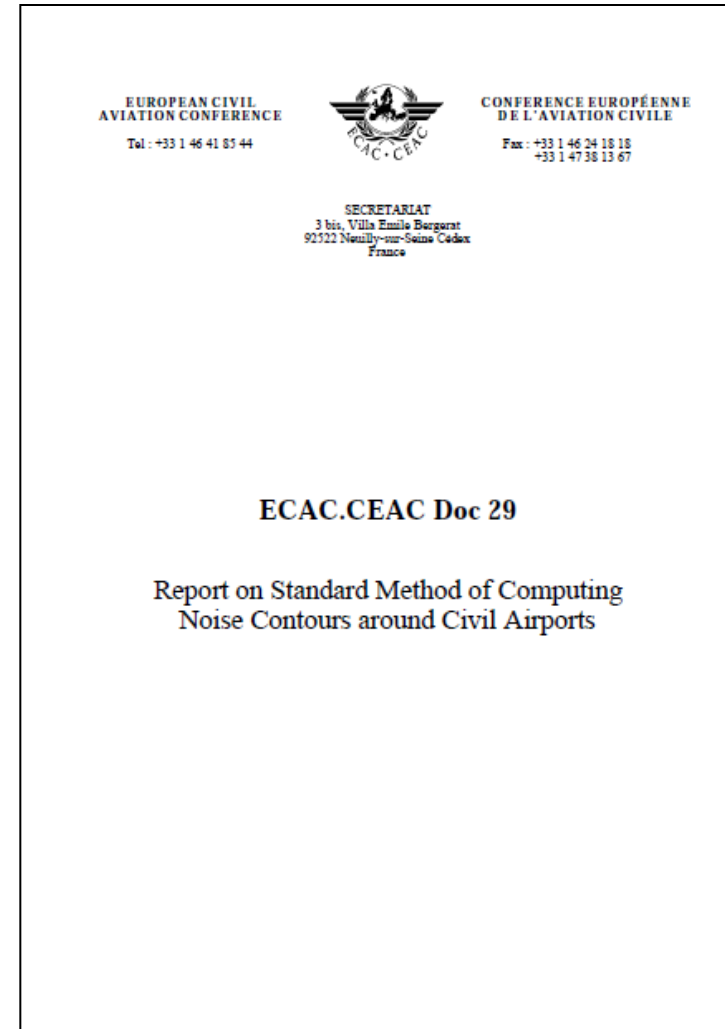
# MODELIZACIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO AÉREO

## ECAC.CEAC Doc. 29

### «Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports»

Es el método recomendado, para la predicción de niveles sonoros de aeropuertos, según la directiva europea 2002/49/CE.

*Fuente: ECAC-CEAC DOC29*




## Modelo ECAC-CEAC doc-29

Los datos de entrada que necesitara el modelo son:

- a) Los **tipos de aviones** que operan el aeropuerto.
- b) El ruido que genera cada uno de los aviones (datos de **emisión por avión**)..
- c) **Las rutas** que seguirán en los movimientos de aterrizaje y despegue los aviones.
- d) El **número de los movimientos** de cada avión tipo, para cada una de las rutas, en los periodos de cálculo.
- e) Los **datos operacionales del vuelo**, para cada ruta (incluyendo avión, peso, potencia, velocidades y configuraciones durante los diferentes segmentos de vuelo).
- f) La **información del aeropuerto** (incluyendo condiciones meteorológicas medias, pistas, ...).

# Certificación de Aeronaves

- Siguen normas internacionales
- En Europa: ICAO Anexo 16, en EEUU: FAR 36
- Certificado emitido por a un tipo de aeronave

<b>FABRICANTE</b>	AIRBUS		
<b>MODELO</b>	A-380		
<b>VERSIÓN</b>	842		
<b>PROPULSOR</b>	TRENT 972		
<b>Nº MOTORES</b>	4		
<b>MTOM (Kg)</b>	569.000		
<b>MLM (Kg)</b>	391.000		
<b>CAPÍTULO</b>	4		
<b>FECHA CERTIFICACIÓN</b>	24/07/2007		
	<b>Lateral-Máx potencia</b>	<b>Aproximación</b>	<b>Sobrevuelo</b>
<b>Nivel de ruido EPNdB</b>	94,6	98	95,1
<b>Límite de ruido EPNdB</b>	103	105	106
<b>Margen EPNdB</b>	8,4	7	10,9
<b>Margen acumulado EPNdB</b>	26,3		

Fuente: Robert bArtí. Acústica Medioambiental

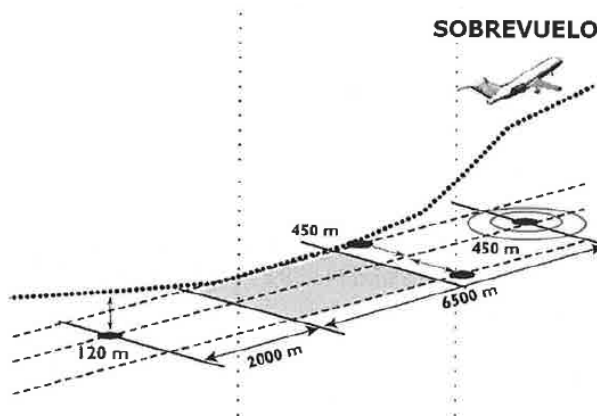


# Certificación de Aeronaves

## Evolución histórica

- Capítulo 2: Aviones diseñados antes de 6/10/1977
- Capítulo 3: Aviones diseñados entre 6/10/1977 y 1/1/2006
- Capítulo 4: Aviones diseñados después del 1/1/2006

**Se ha de demostrar el cumplimiento mediante ensayos en vuelo:**



*Fuente: Robert bArtí. Acústica Medioambiental*

1. Ruido de aproximación (punto a 2000 m)
2. Ruido lateral (punto a 450 m)
3. Ruido de sobrevuelo (punto a 6500 m)

Aviones de Capítulo 2 no pueden volar en la CE desde 1/4/2002  
Casi todos los aviones nuevos cumplen con Capítulo 4

TABLE 2: JET AIRCRAFT (continued)

GROUP DESCRIPTION	ICAO CODE <sup>1</sup> AND TYPE DESCRIPTION		
	NOISE CERTIFICATION		
	NOT CERTIFIED <sup>2</sup>	CHAPTER 2 <sup>2</sup>	CHAPTER 3
MBPR turbofan 3 engines (heavy)	TU54 TU-154	TU54 TU-154	B727 B727-200 RE
MBPR turbofan 4 engines (medium)	L129 Jetstar	IL76 IL-76 T	
MBPR turbofan 4 engines (heavy)	B720 Stratoliner 720 CV88 Convair 880 CV99 Coronado 990	B707 B707-320C DC8 DC-8-55 DC8S Super DC-8-63 IL62 IL-62M zonder hushkit	
HBPR turbofan 2 engines (medium)		AN72 AN-72, -74 Coaler	BA10 Bae 125 series 1000 CL60 Challenger CL601-3R CL65 Regional jet - Citation X - Falcon 2000 - Gulfstream V
HBPR turbofan 2 engines (heavy)		EA30 A300 B4-101	B73F B737-400 LR B73S B737-300 LR B73V B737-500 LR - B737-600/700/800 B757 B757-200 B767 B767-200/-300 ER EA30 A300-600/800 R EA31 A310-200/-300 EA32 A320-200 MD-90 TU44 TU-204
HBPR turbofan 2 engines (very heavy)			- B777-200 A/B EA33 A330-300/-300 LR

Fuente: ECAC-CEAC DOC29

## Modelo de emisión

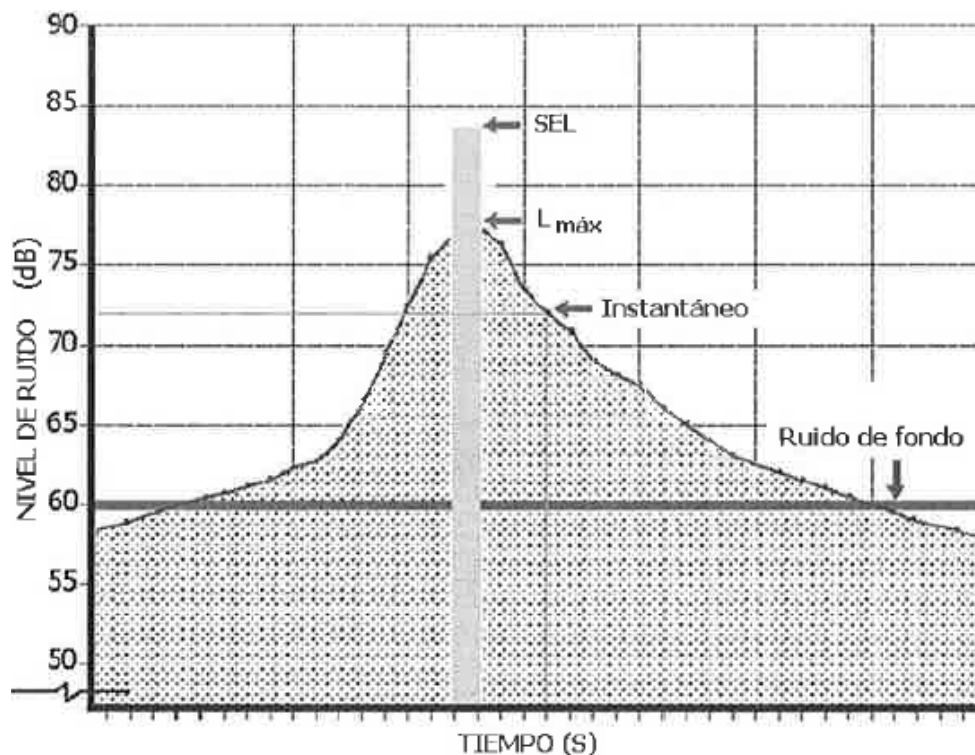
El nivel de emisión del avión se caracterizara con los indicadores LAmax y LAE (SEL)

$$L_{AE} = 10 \log \left\{ (1 / t_0) \int_{t_1}^{t_2} [p_A^2(t) / p_0^2] dt \right\}$$

Las tablas de datos de emisión deben contener los valores :

1. LAE i LAmax
2. Valores des de 80 m a valores umbral LAmax = 65 dB o LAE = 70 dB

Fuente: Robert bArtí. Acústica Medioambiental



## Modelo de emisión

Estos valores de emisión de SEL (NPD-data), se encuentran en la base de datos, con velocidades de 160 Knots, para motores JET y 80 Knots, para otros tipos de propulsores.

$$SEL(x,y) = SEL(\xi,d)_{v,ref} - \Lambda(\beta,l) + \Delta_L + \Delta_v + \Delta_F$$

Si los cálculos se basan en el parámetro LAmax (NPD-data):

$$SEL(x,y) = L_A(\xi,d) - \Lambda(\beta,l) + \Delta_L + \Delta_A + \Delta_F$$

Donde:

- $SEL(\xi,d)_{v,ref}$  es el nivel SEL, calculado para las coordenadas (x,y) , debido al movimiento de un avión en el aterrizaje o despegue, a la distancia mas corta “d”.
- $L_A(\xi,d)$  es el nivel sonoro LAmax, calculado para las coordenadas (x,y) , debido al movimiento de un avión en el aterrizaje o despegue, a la distancia mas corta “d”.

## Modelo de emisión

Los valores son corregidos por variables como la velocidad, directividad o segmentación del recorrido, entre otros:

- $\Lambda(\beta)$  es una atenuación lateral debida a condiciones de calma (sin viento)

$$\Lambda(\beta, \ell) = [G(\ell)] [\Lambda(\beta)] / 13.86$$

- $\Delta L$  es una corrección debido a la directividad
- $\Delta v$  es una corrección debido a la velocidad

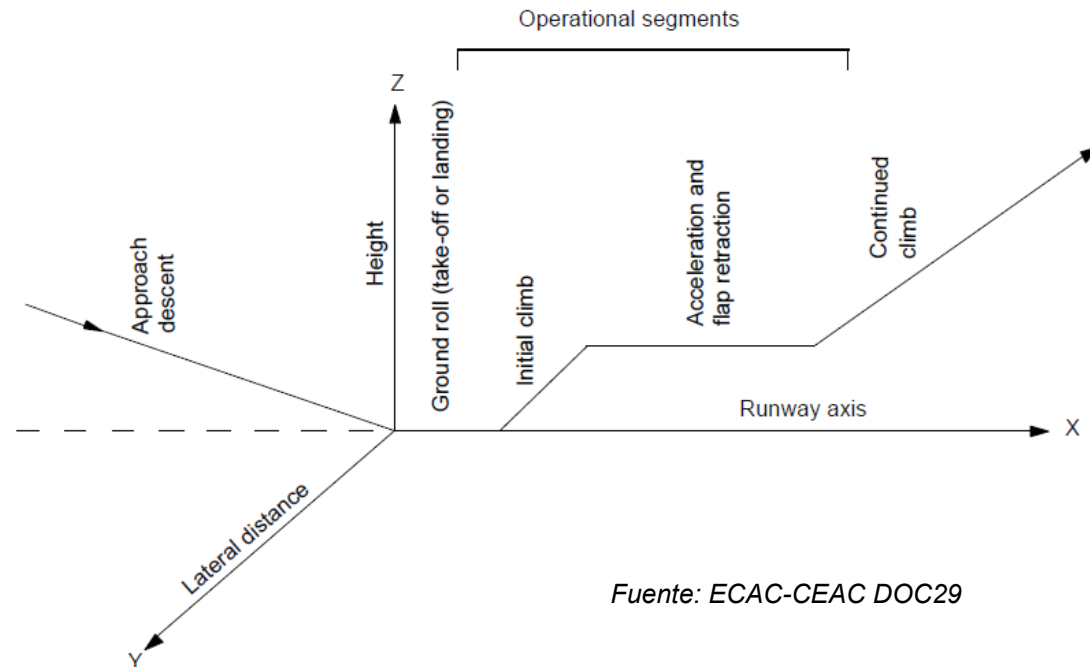
$$\Delta_v = 10 \log V_{\text{ref}} / V$$

- $\Delta \Lambda$  es una corrección debido al tiempo de exposición a la velocidad  $V$
- $\Delta F$  es una corrección debido a longitud finita de la segmentación

# Segmentación

Los movimientos que puede realizar un avión cerca del aeropuerto son:

- Aproximación para el aterrizaje
- Aterrizaje
- Despegue.
  - a) Ascensión inicial
  - b) Aceleración y corrección de “flaps”
  - c) Ascensión final

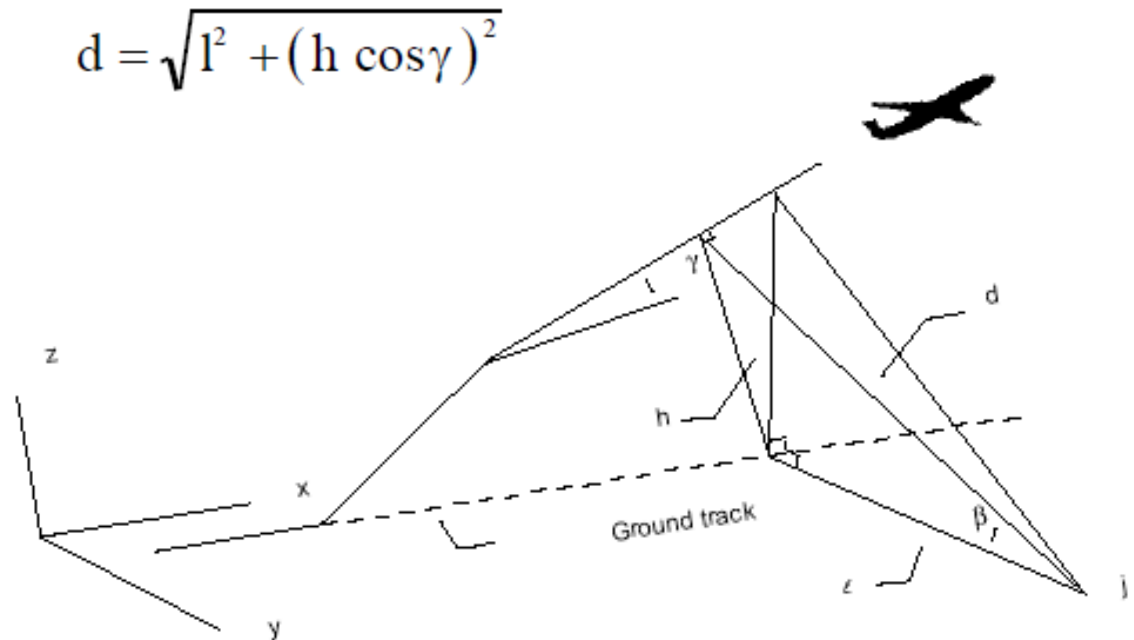


Fuente: ECAC-CEAC DOC29

## Segmentación

- La ruta aérea es modelizada mediante líneas rectas, cada una con velocidad y empuje de motores constante

- La distancia más corta “d” entre la ruta y el receptor se emplea para describir la distancia del segmento
- “d” se calcula a partir de la distancia perpendicular “l” entre receptor y la proyección de la ruta, la altura del avión “h” en ese punto y el ángulo de ascensión gamma.



Fuente: ECAC-CEAC DOC29

## Nivel de inmisión

El nivel parcial de todos los segmentos que componen una ruta aérea contribuye al nivel total ponderado A en el receptor

$$L_{Aeq,W} = 10 \log \left[ \frac{1}{T} \sum_{j=1}^N W 10^{\frac{L_{AE,j}}{10}} \right]$$

Donde:

- $L_{AE,j}$  es el nivel de exposición sonora, para la operación del avión  $j$
- $W$  sería el factor de ponderación temporal, en función del horario de evaluación (día, tarde, noche).
- $T$ , es el tiempo de referencia

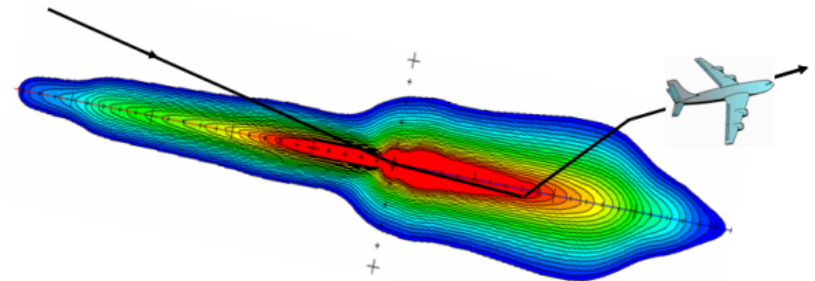
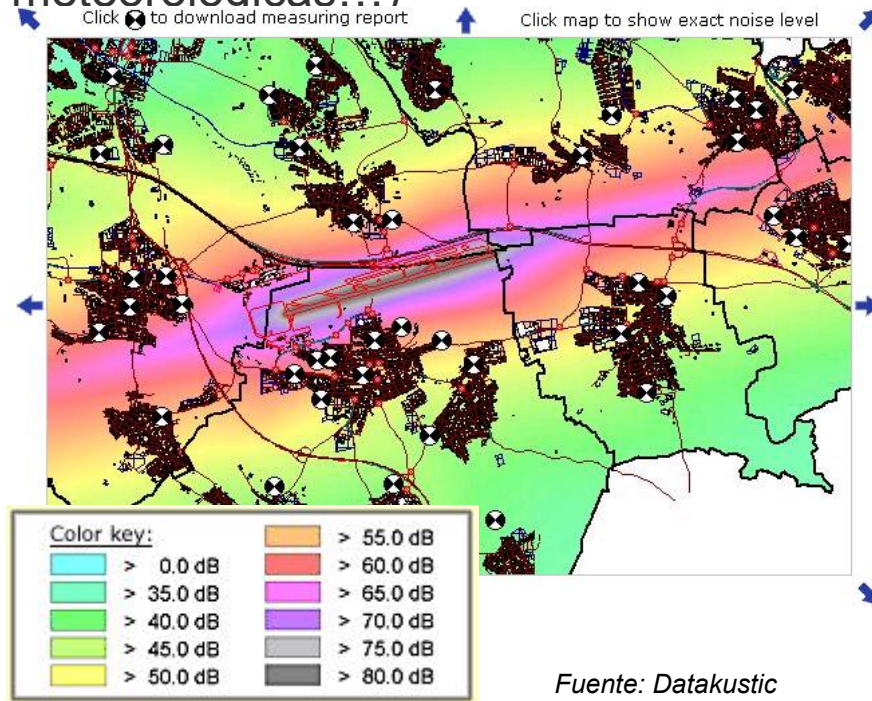
$$L_{den} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{86\,400} \sum_{i,j} (N_{d,i,j} + 3,16 \cdot N_{e,i,j} + 10 \cdot N_{n,i,j}) \cdot 10_{SEL_{i,j}/10} \right)$$

$$L_{night} = 10 \cdot \lg \left( \frac{1}{T_n} \sum_{i,j} N_{n,i,j} \cdot 10_{SEL_{i,j}/10} \right)$$



## Huella acústica

Los niveles que se representan, son los niveles energéticos medios, que sobre cartografía conforman la huella acústica del funcionamiento del aeropuerto, con unas determinadas condiciones de funcionamiento de operatividad y condiciones de entorno (funcionamiento de pistas, meteorológicas...)

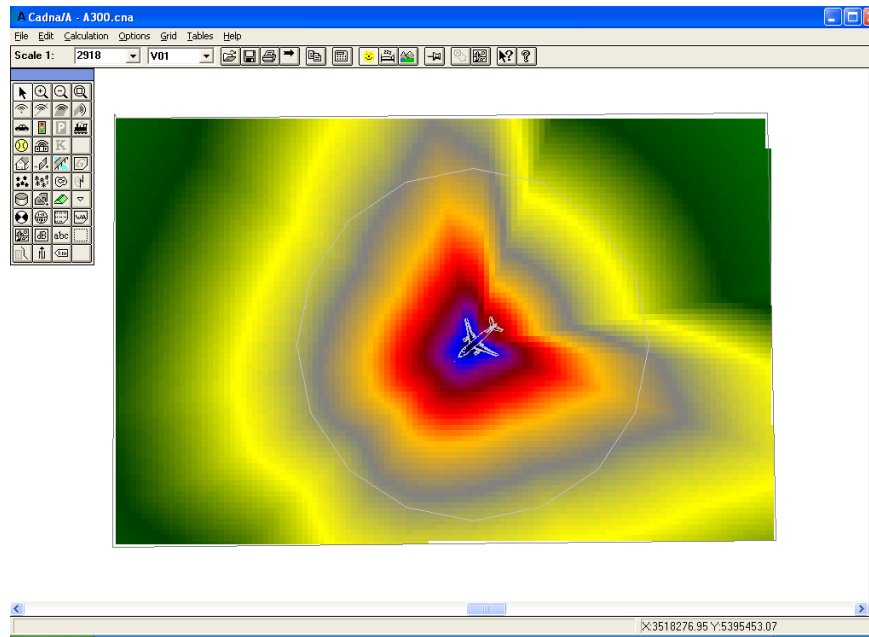


Fuente: QICE PROJECT

# Casos particulares

1. Aviones en tierra (mantenimiento, pruebas motores), el modelo ECAC-CEAC doc 29 no es aplicable.

En este caso, la solución pasa por tratarlo como una fuente puntual, según ISO 9613-2, con características especiales de emisión (potencia y directividad).



Directivity									
Name:	A310-300 90%								
	<input checked="" type="checkbox"/> normalized								
	31.5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
0°	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0	106.0
15°	107.1	107.1	107.1	107.1	107.1	107.1	107.1	107.1	107.1
30°	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7	106.7
45°	105.4	105.4	105.4	105.4	105.4	105.4	105.4	105.4	105.4
60°	104.5	104.5	104.5	104.5	104.5	104.5	104.5	104.5	104.5
75°	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0	104.0
90°	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0	105.0
105°	106.2	106.2	106.2	106.2	106.2	106.2	106.2	106.2	106.2
120°	108.7	108.7	108.7	108.7	108.7	108.7	108.7	108.7	108.7
135°	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6	106.6
150°	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8
165°	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8
180°	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8	99.8

Fuente: Datakustic

## Casos particulares

2. Helipuertos, el modelo ECAC-CEAC doc 29 no es aplicable, ya que el comportamiento de los movimientos de aterrizaje y despegue de helicópteros son muy diferente y el ruido predominante es el del rotor de las aspas.

- La caracterización se describe mediante LAE i LAm<sub>ax</sub> también.
- Establecer el número de movimientos para cada tipología de helicóptero y periodos de tiempo.
- No hay un modelo de cálculo reconocido, y su cálculo es mas artesanal. Ejemplo:

<http://www.pegasus-airpark.com/R44CNEInfo.pdf>



## Bibliografia

1. Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
2. Recomendación de la comisión, de 6 de agosto de 2003, relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes (2003/613/CE).
3. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Versión 2. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN). 2006.
4. Report on Standard Method of Computing Noise Contours around Civil Airports. ECAC-CEAC Doc 29.
5. Robert Bartí. Acústica Ambiental Vol II. ECU. 2010.
6. <http://www.xnoise.eu/home/>
7. <http://www.qice.dlr.de/>
8. [https://www.faa.gov/about/office\\_org/headquarters\\_offices/apl/noise\\_emissions/](https://www.faa.gov/about/office_org/headquarters_offices/apl/noise_emissions/)

A collection of decorative squares in light blue, medium blue, and grey, scattered across the top half of the slide.

# Ruido de tráfico aéreo

## Métodos de cálculo

**Eduard Puig**