

REVISTA DE ACUSTICA

PUBLICACION DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ACUSTICA

Vol. XIV	1 ^{er} y 2 ^o Trimestre 1.983	Núms. 1-2
INDICE		
<p>Director. D. J. J. Martínez Requena.</p> <p>Redactor Jefe. D. Antonio Calvo-Manzano</p> <p>Redacción, Administración y Publicidad. Sociedad Española de Acústica. Serrano, 144. Teléfono 261 88 06 Madrid-6.</p> <hr/> <p>Precio del ejemplar. España: 200 pesetas. Extranjero: \$ 3</p> <p>Suscripción anual. España: 600 pesetas Extranjero: \$ 10</p> <hr/> <p>Tarifas de publicidad En blanco y negro Una página 10.000 pesetas Media página 5.000 pesetas</p> <hr/> <p>Depósito Legal: M. 19.769-1970</p>	<p>Actividades de la S.E.A. Primer Encuentro de Trabajo Luso-Español de Acústica 5</p> <p>Colaboraciones <i>Modelo de Predicción del Nivel Sonoro Continuo Equivalente producido por el Ruido de Tráfico en Vías Urbanas e Interurbanas de Alta Velocidad en Espacio Abierto</i>, por Fernando Luis López Ranz 9 <i>Método aproximado de Cálculo del Parámetro EPNL</i>, por José Luis Manglano de Mas, Francisco Belmar Ibáñez y Angel Gimeno Hernández 23 <i>Contaminación Acústica en términos de Nivel Ponderado de Ruido Percibido (WECPNL) en las zonas colindantes al Aeropuerto de Valencia</i>, por José Luis Manglano de Mas, Francisco Belmar Ibáñez y Angel Gimeno Hernández 31 <i>Determinación de la forma de las curvas de Ruido de Aerona- ves, en términos de EPNL, en función de la distancia observador-avión</i>, por José Luis Manglano de Mas, Francisco Belmar Ibáñez y Angel Gimeno Hernández 45 <i>Atenuación del Senel causada por los Edificios para el caso del ruido emitido por el ferrocarril</i>, por José Luis Manglano de Mas, Hermelando Estellés Belenguer y Francisco Belmar Ibáñez 53 <i>Contaminación acústica originada por el ruido emitido por el ferrocarril dentro del Municipio de Valencia</i>, por José Luis Manglano de Mas, Hermelando Estellés Belenguer y Francisco Belmar Ibáñez 59</p> <p>Novedades Técnicas Micrófonos B & K para Estudios 69</p> <p>Publicaciones Nato Asi Series. Serie F: Computer and System Sciences. 71 The Noise-CON 83 proceedings are available 72</p> <p>Noticias Acontecimientos Acústicos 1984 73</p>	<p>Páginas</p>

Los autores son los responsables del contenido de los artículos. Se autoriza la reproducción total o parcial de los artículos citando su procedencia.

DETERMINACION DE LA FORMA DE LAS CURVAS DE RUIDO DE AERONAVES, EN TERMINOS DE EPNL, EN FUNCION DE LA DISTANCIA OBSERVADOR-AVION

JOSE LUIS MANGLANO DE MAS
FRANCISCO BELMAR IBANEZ
ANGEL GIMENO HERNANDEZ

RESUMEN

El objeto del presente trabajo es el de definir la forma de las curvas de nivel de ruido efectivo en función de la distancia mínima avión-observador en condiciones standard, lo cual resulta útil para la obtención posterior de dichas curvas, para distintos tipos de aviones, basándose en un número considerable de medidas de campo.

DESARROLLO

A partir de los datos obtenidos en un sobrevuelo determinado, si tomamos el instante de máximo nivel, podemos suponer que el espectro así obtenido corresponde al momento en que la distancia al avión es mínima. Sea esta distancia mínima u_1 y las condiciones de observación t_1 (temperatura) y h_1 (humedad):

Conocidos los valores de los coeficientes de absorción del aire (en función de t y h) es posible predecir el nivel que se hubiese obtenido en dicho punto de observación (dis-

tancia u_1) en condiciones standard (25°C y 78% de humedad), del siguiente modo:

$$L_i^0 = L_i^1 + u_1 (\alpha_i^1 - \alpha_i^0) \quad (1)$$

donde:

L_i^0 = Nivel en la banda i en condiciones standard.

L_i^1 = Nivel en la banda i en condiciones de medición.

α_i^0 = Coeficiente de absorción, banda i , en condiciones standard.

α_i^1 = Coeficiente de absorción, banda i , en condiciones medidas (t_1, h_1).

A partir de este supuesto espectro observado a la distancia u_1 en condiciones standard, es posible calcular el nivel que para cada frecuencia se obtendría a una distancia u en condiciones standard, del modo siguiente:

$$L_u^i = L_{u_1}^i - 20 \log \frac{u}{u_1} - \alpha_i^0 (u - u_1) \quad (2)$$

Una vez obtenidos los espectros a las diferentes distancias u es posible determinar en cada uno de ellos los niveles PNL (Nivel de

ruido percibido) y PNLT (Nivel de ruido percibido corregido por la presencia de tonos puros), con lo que será posible construir una gráfica nivel-distancia. Cuando se utiliza una escala logarítmica para las distancias se observa que a los puntos obtenidos (ver aplicaciones) puede ajustarse una recta con coeficientes de regresión del orden de 0,99, lo que indica la bondad de dicha regresión.

Es de notar que en los cálculos que siguen siempre se tendrán en cuenta los valores reales obtenidos, utilizándose únicamente la aproximación lineal a los efectos de corrección por duración del suceso sonoro. En este caso supondremos que:

$$PNLT_u = A + B \log_{10} u \quad (3)$$

siendo R^2 el coeficiente de regresión.

Como es sabido el nivel efectivo de ruido percibido se calcula mediante la expresión:

$$EPNL = PNLTM + D \quad (4)$$

donde:

$$D = 10 \log_{10} \left[\frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} \text{antilog}_{10} \left(\frac{PNLT}{10} \right) dt \right] - PNLTM \quad (5)$$

es el factor de corrección por duración y PNLTM es el máximo nivel obtenido durante el sobrevuelo.

$T =$ Constante de tiempo normalizadora
(10 seg.)

t_1 y t_2 : Tiempos en los cuales el nivel es (PNLTM - 10) dB.

Los citados parámetros vienen representados en la figura I.

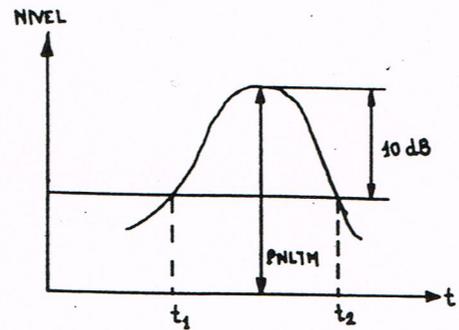


Figura I

CALCULO DEL FACTOR D

A los efectos de conocer la duración del sobrevuelo (t_1, t_2), es posible tomar la aproximación mostrada por la ecuación (3). Así un punto situado a una distancia mínima de la trayectoria u_0 tendrá un nivel máximo:

$$L_0 = A + B \log_{10} u_0 \quad (6)$$

Un nivel inferior a él en 10 dB se producirá para una distancia u_1 , de tal forma que:

$$L_1 = L_0 - 10 = A + B \log_{10} u_1 \quad (7)$$

Restando las ecuaciones (7) y (6):

$$10 = B \log_{10} u_0/u_1 \quad (8)$$

de donde:

$$u_1 = k u_0 \quad (9)$$

$$\text{con } K = 10^{-10/B}$$

Como se observa en las aplicaciones B O, por tanto: $K > 1$; $u_1 > u_0$.

Teniendo en cuenta que el avión está dotado de una velocidad v , y por observación

de la figura II, se obtiene:

$$u^2 = u_0^2 + v^2 t^2 \quad (10)$$

(para $t = 0$; $u = u_0$)

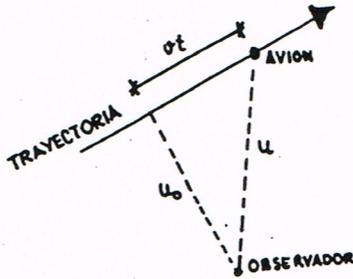


Figura II

Pasemos a evaluar la integral que aparece en la ecuación (5). Dicha integral podemos ponerla en la forma:

$$I = \int_{t_1}^{t_2} 10^{L/10} dt \quad (11)$$

en donde:

$$\begin{aligned} L &= A + B \log_{10} u \\ u^2 &= u_0^2 + v^2 t^2 \\ u_1 &= k u_0 \end{aligned}$$

Realizando un cambio de variable, de tal forma que:

$$t^2 = \frac{u^2 - u_0^2}{v^2}$$

y diferenciando:

$$dt = \frac{u du}{v \sqrt{u^2 - u_0^2}}$$

siendo los nuevos límites:

$$\begin{aligned} t = t_1 &\dots\dots\dots u = u_1 = k u_0 \\ t = t_2 &= -t_1 \dots\dots u = u_1 = k u_0 \\ t = 0 &\dots\dots\dots u = u_0 \end{aligned}$$

con lo que la integral queda de la forma:

$$I = 2 \cdot 10^{A/10} \frac{1}{v} I_1 \quad (12)$$

en donde:

$$I_1 = \int_{u_0}^{k u_0} \frac{u^{B/10 + 1}}{\sqrt{u^2 - u_0^2}} du$$

Realizando un segundo cambio de variable: $\epsilon = u/u_0$, los límites de integración pasarán a ser:

$$\begin{aligned} u = u_0 &\dots\dots\dots \epsilon = 1 \\ u = k u_0 &\dots\dots\dots \epsilon = k \end{aligned}$$

quedando la ecuación (12) de la forma:

$$I = 2 \cdot 10^{A/10} \frac{1}{v} u_0^{B/10 + 1} I_2 \quad (13)$$

donde:

$$I_2 = \int_1^k \frac{\log k - 1}{\sqrt{\epsilon^2 - 1}} d\epsilon$$

Se observa que I_2 es función de K y que dicha integral puede ser evaluada numéricamente, una vez se conozca K .

Puesto que el límite inferior hace que la función tienda a infinito, parece conveniente modificarla para minimizar los errores de cálculo.

Para conseguir este objetivo, realizamos el cambio de variable siguiente:

$$\epsilon = \text{Ch } \eta$$

con lo que los nuevos límites de integración serán:

$$\epsilon = 1 \dots\dots\dots \eta = 0$$

$$\epsilon = k \dots \dots \dots \eta = \arg \operatorname{Ch} k$$

con lo que I_2 queda de la forma:

$$I_2 = \int_0^{\log_e k + \sqrt{k^2 - 1}} \frac{\log k - 1}{(\operatorname{Ch} \eta) \log k} d\eta \quad (14)$$

función que por no presentar puntos impropios es válida para una integración numérica.

Aunque en cada caso se resuelve con el verdadero valor de K, para conocer su orden de magnitud, se resolvió para diversos valores de k, obteniéndose la tabla I.

Obsérvese que si no hubiese absorción $L = 20 \log k = 10$, con lo que $k = 3,16$ es el máximo valor que puede tomar k.

- TABLA I -

K	I_2
1,5	0,57206878
1,6	0,62838486
1,7	0,68063875
1,8	0,72971633
1,9	0,77622930
2,0	0,82062025
2,1	0,86322109
2,2	0,90428790
2,3	0,94402292
2,4	0,98258899
2,5	1,02011932
2,6	1,05672448
2,7	1,09249734
2,8	1,12751672
2,9	1,16185018
3,0	1,19555608
3,1	1,22868524

Por lo tanto la integral (13) la podemos calcular mediante la expresión:

$$I = 2 \frac{10^{A/10}}{v} u_0^{B/10 + 1} I_2(k) \quad (15)$$

El factor de corrección D, dado por la expresión (5), quedará de la forma:

$$D = 10 \log_{10} [I/T] - \operatorname{PNLTM} \quad (16)$$

en donde: $\operatorname{PNLTM} = A + B \log_{10} u_0$

sustituyendo (15) por (16) y simplificando, nos queda:

$$D = -6,9897 - 10 \log v + 10 \log u_0 + 10 \log I_2(k) \quad (17)$$

Si al PNLT calculado para cada u_0 (no al supuesto por regresión) se le suma el valor obtenido para D, según (17), calcularemos el nivel EPNL y por tanto podremos dibujar una curva EPNL-distancia mínima u_0 .

Veamos la influencia de las variables que intervienen en la evaluación de D:

1) Velocidad: Una mala estimación de la velocidad (v' en lugar de v), supondrá un error en D. Así si $v' = \epsilon v$:

$$10 \log v' = 10 \log \epsilon v = 10 \log \epsilon + 10 \log v$$

y por tanto un error de $10 \log \epsilon$.

Si por ejemplo $\epsilon = 1,25$ (que representa un error del 25%), el error en el cálculo de D será de 0,969 dB, constante para todas las distancias. Por lo tanto observamos la baja magnitud de dicho error, 1 dB, frente a los valores manejados de 60 a 120 dB.

2) Integral I_2 : Es decir k, que a su vez es función de B, pendiente de la recta, que depende fundamentalmente del espectro inicial, es de notar, tal y como se observa en los ejemplos que se adjuntan, que el valor de B está próximo al valor -30 con lo que I_2 varía entre 0,7762 y 0,9043, lo cual equivale a una variación de D: entre -1,10 y -0,44, que como observamos tiene menor influencia que la velocidad.

3) Distancia de observación u_1 :

La influencia de un error en la apreciación de la distancia de observación u_1 , tal y como se aprecia en los ejemplos que se adjuntan, únicamente se manifiesta en una variación en la "altura" de la curva (parámetro A de la recta de regresión), siendo prácticamente

nula la influencia de la pendiente B y dando lugar a curvas paralelas (ver ejemplo, anexo A).

Aplicando el correspondiente programa de cálculo a un avión de cuatro motores, en operación de despegue, se encontraron los resultados que se adjuntan en el anexo B.

A N E X O S

ANEXO A: VARIACION DE LAS CURVAS DE EPNL EN FUNCION DE LA DISTANCIA, CON LA APRECIACION DE LA DISTANCIA.

ANEXO B: CURVAS EPNL EN FUNCION DE LA DISTANCIA, PARA DISTINTOS TIPOS DE AERONAVES.

ANEXO A: VARIACION DE LAS CURVAS DE EPNL EN FUNCION DE LA DISTANCIA, CON LA APRECIACION DE LA DISTANCIA.

ANEXO B: CURVAS EPNL EN FUNCION DE LA DISTANCIA, PARA DISTINTOS TIPOS DE AERONAVES.

Se representan en la figura III la variación de las curvas de EPNL en función de la distancia para una aeronave del tipo Boeing 727 en operación de despegue, y para diferentes distancias de observación u_0 , observándose así la propiedad antes comentada de variación de la "altura" de las curvas.

Se presentan en este anexo la aplicación del modelo antes expuesto para la obtención de las curvas EPNL en función de la distancia, para distintos tipos de aeronaves, a partir de una medición de campo realizada bajo unas condiciones determinadas de temperatura y humedad.

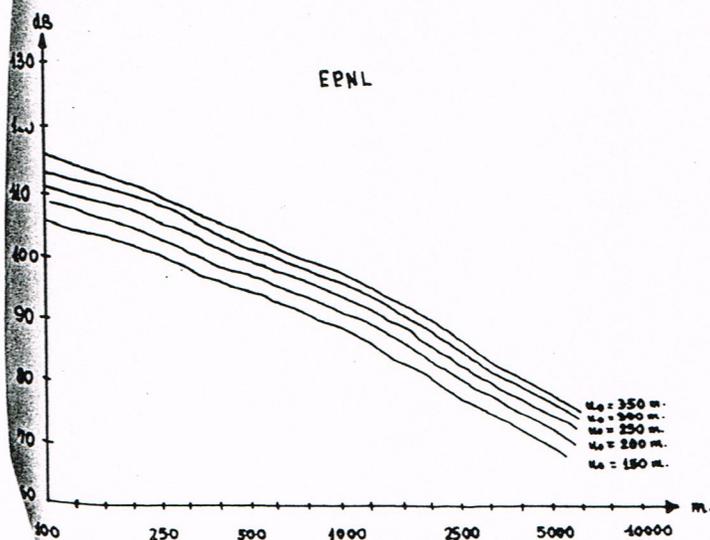


Figura III

B5)

TIPO	SDC-8
OPERACION	DESPEGUE
DISTANCIA	550 m.
VELOCIDAD	129 m/s.
TEMPERATURA	28°C
HUMEDAD	34%

NIVELES A LA DISTANCIA 550

FREC	MED	STAND
50	71.0	71.0
63	74.0	74.0
80	71.6	71.8
100	76.8	76.8
125	82.5	82.5
160	87.2	87.2
200	88.0	88.0
250	83.0	83.2
315	88.0	88.0
400	86.4	86.6
500	86.0	86.2
630	86.8	87.0
800	84.0	84.4
1000	86.0	86.4
1250	86.3	86.7
1600	84.0	84.5
2000	82.0	82.5
2500	81.0	81.7
3150	79.0	79.9
4000	75.5	76.8
5000	71.1	72.4
6300	66.0	68.2
8000	61.1	64.3
10000	59.0	63.3

VARIACION CON LA DISTANCIA

DIST.	PNL	C. TONOS	PNLT	C. DUR	EPNL
50	135.2	0.8	136.1	- 12.0	124.1
63	133.0	0.8	133.8	- 11.0	122.8
80	130.6	0.5	131.1	- 10.0	121.1
100	128.3	0.5	128.8	- 9.0	119.8
125	125.9	0.5	126.4	- 8.0	118.4
160	123.1	0.5	123.6	- 7.0	116.7
200	120.4	0.5	121.0	- 6.0	115.0
250	117.7	0.5	118.2	- 5.0	113.2
315	114.6	0.5	115.1	- 4.0	111.1
400	111.3	0.5	111.8	- 3.0	108.8
500	108.0	0.5	108.5	- 2.0	106.5
630	104.4	0.5	104.9	- 1.0	103.9
800	100.5	0.5	101.0	0.0	101.0
1000	96.8	0.5	97.3	1.0	98.3
1250	93.3	0.5	93.8	2.0	95.8
1600	89.5	0.6	90.0	3.0	93.1
2000	85.9	0.8	86.6	4.0	90.6
2500	82.1	0.5	82.6	5.0	87.6
3150	78.1	0.5	78.6	6.0	84.6
4000	73.7	0.5	74.2	7.0	81.3
5000	69.6	0.5	74.2	8.0	78.1
6300	65.0	0.6	65.6	9.0	74.6

REGRESION PNLT-DISTANCIA
(PNLT = A + B Log D)

$$A = 197.095125665$$

$$B = 33.6672982308$$

$$R2 = .992106614917$$

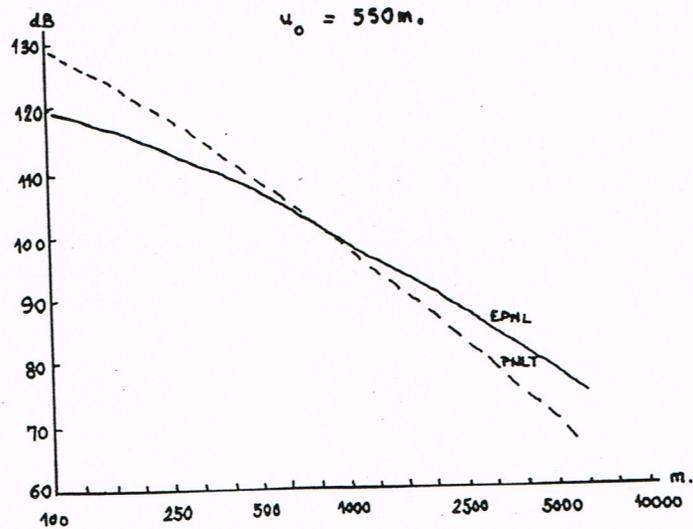


Figura IV

BIBLIOGRAFIA

- (1) ORGANIZACION INTERNACIONAL DE AVIACION CIVIL, "Ruido de las aeronaves", Anexo 16 al convenio sobre Aviación Civil Internacional, Julio 1978.
- (2) CONTRIBUCION AL ESTUDIO DE LA CONTAMINACION ACUSTICA ORIGINADA POR LA AVIACION CIVIL EN LAS ZONAS COLINDANTES AL AEROPUERTO DE VALENCIA, F. Belmar, E.T.S.I.I. de Valencia.