

# REVISTA DE ACUSTICA

PUBLICACION DE LA SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ACUSTICA

Vol. XIV	1 <sup>er</sup> y 2 <sup>o</sup> Trimestre 1.983	Núms. 1-2
<p><b>Director.</b> D. J. J. Martínez Requena.</p> <p><b>Redactor Jefe.</b> D. Antonio Calvo-Manzano</p> <p><b>Redacción, Administración y Publicidad.</b> Sociedad Española de Acústica. Serrano, 144. Teléfono 261 88 06 Madrid-6.</p> <hr/> <p><b>Precio del ejemplar.</b> España: 200 pesetas. Extranjero: \$ 3</p> <p><b>Suscripción anual.</b> España: 600 pesetas Extranjero: \$ 10</p> <hr/> <p><b>Tarifas de publicidad</b> En blanco y negro Una página 10.000 pesetas Media página 5.000 pesetas</p> <hr/> <p>Depósito Legal: M. 19.769-1970</p>	<h2>INDICE</h2>	<p><b>Páginas</b></p>
	<p><b>Actividades de la S.E.A.</b> Primer Encuentro de Trabajo Luso-Español de Acústica . . . . .</p>	5
	<p><b>Colaboraciones</b> <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 . . . . .</p>	9
	<p><i>Método aproximado de Cálculo del Parámetro EPNL</i>, por José Luis Manglano de Mas, Francisco Belmar Ibáñez y Angel Gimeno Hernández . . . . .</p>	23
	<p><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 . . . . .</p>	31
	<p><i>Determinación de la forma de las curvas de Ruido de Aeronaues, 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 . . . . .</p>	45
	<p><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 . . . . .</p>	53
	<p><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 . . . . .</p>	59
	<p><b>Novedades Técnicas</b> Micrófonos B &amp; K para Estudios . . . . .</p>	69
	<p><b>Publicaciones</b> Nato Asi Series. Serie F: Computer and System Sciences . . . . .</p>	71
	<p>The Noise-CON 83 proceedings are available . . . . .</p>	72
	<p><b>Noticias</b> Acontecimientos Acústicos 1984 . . . . .</p>	73

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

# CONTAMINACION ACUSTICA EN TERMINOS DE NIVEL PONDERADO DE RUIDO PERCIBIDO (WECPNL) EN LAS ZONAS COLINDANTES AL AEROPUERTO DE VALENCIA

*JOSE LUIS MANGLANO DE MAS  
FRANCISCO BELMAR IBAÑEZ  
ANGEL GIMENO HERNANDEZ*

## INTRODUCCION

Dentro de la contaminación por ruido de transporte se encuentra el ruido producido por las aeronaves en las zonas colindantes a un aeropuerto, cuya influencia en el entorno aeroportuario es importante y requiere un estudio particular.

En la actualidad existe una gran preocupación sobre la normativa referente al ruido producido por las aeronaves en las proximidades de los aeropuertos, en el sentido de examinar el problema que plantea dicha contaminación, describir el ruido de las aeronaves y el método de predicción, así como las limitaciones que convendría imponer al ruido producido por las aeronaves, establecer criterios sobre procedimientos operacionales a utilizar para atenuar dicho ruido y reglamentar la utilización de los terrenos.

Este estudio está basado en la normativa que contiene el Anexo 16 de la Organización Civil Internacional, la cual es aceptada en la actualidad por la mayoría de los países en cuanto a certificación de aviones.

## DESCRIPCION DEL ESTUDIO

El modelo aplicado está basado en el conocimiento de las curvas de ruido en función de la distancia, de las trayectorias sobre el terreno descritas por las aeronaves, de los perfiles de despegue y aterrizaje, del tráfico del aeropuerto de los datos topográficos de los puntos del terreno, de la atenuación superficial del terreno y de la atenuación por apantallamiento del fuselaje, destacando de entre todos estos factores la obtención de las curvas de ruido en función de la distancia, que se ha basado en el estudio teórico de la forma de dichas curvas, y la elaboración de las medidas de campo realizadas.

Una vez obtenidos los niveles en términos de EPNL y WECPNL, se realiza una comprobación experimental del modelo y la presentación de resultados en forma de curvas isofónicas.

En el estudio se supone una zona afectada por el ruido de 15 km de radio alrededor del aeropuerto, estableciéndose un reticulado de 540 puntos en coordenadas polares, siendo

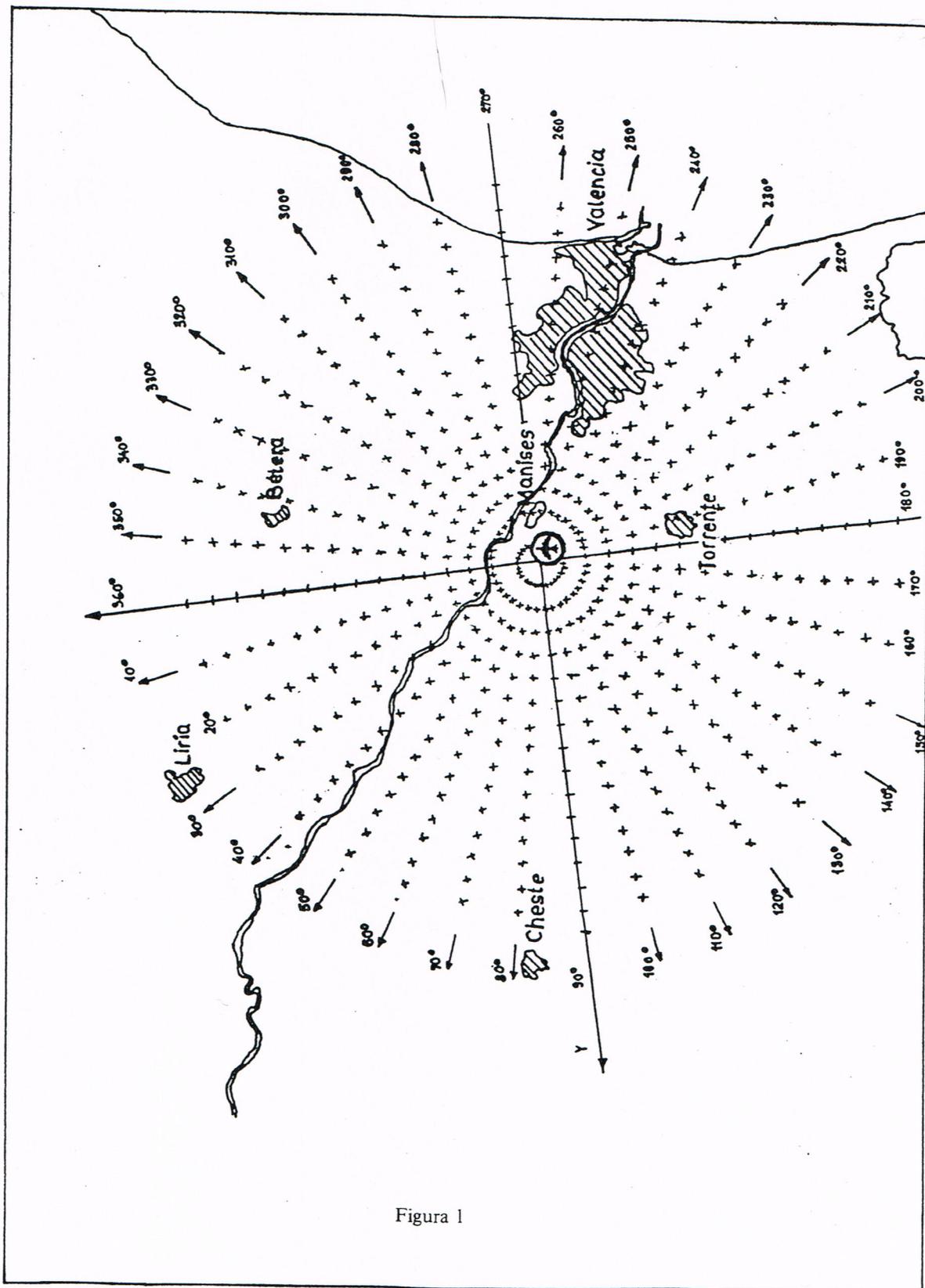


Figura 1

el polo el punto de cruce de las dos pistas principales y el eje polar inicial corresponde a la dirección del Norte magnético. Los citados puntos han sido tomados incrementando el ángulo de giro a intervalos de  $10^0$  y la distancia radial a intervalos de 1 km, con la particularidad de que existe una mayor densidad de puntos en las zonas colindantes al aeropuerto, cuestión importante pues es en esta zona donde la contaminación acústica afecta con mayor intensidad. Dicha distribución de puntos puede verse en la figura 1.

Mediante la aplicación del modelo se determina para los 540 puntos el nivel efectivo de ruido percibido para cada tipo de avión y trayectoria. Para ello se calcula la distancia mínima desde cada punto del terreno a las diferentes trayectorias, pasando a leer en las curvas de nivel efectivo de ruido percibido en función de la distancia, el nivel asociado a dichas distancias, que a su vez será corregido para tener en cuenta los efectos de apantallamiento del fuselaje y atenuación superficial.

La distancia mínima que se establece obedece a la representación geométrica de la figura 2, es decir se traza la perpendicular a la proyección sobre el suelo de la trayecto-

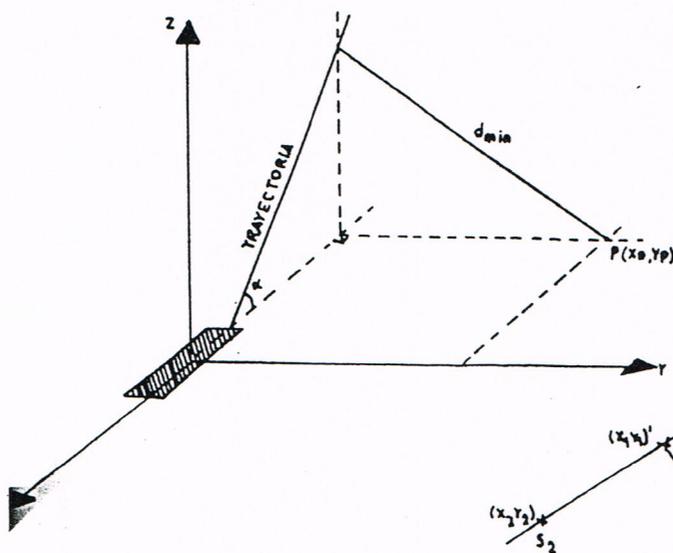


Figura 2

ria, y en el punto de intersección sobre dicha proyección se traza la vertical sobre el plano horizontal, cuya intersección con la trayectoria se une con el punto de observación, dando lugar a la citada distancia mínima.

Por tanto se deduce que dicha distancia mínima no es la mínima real, que sería la perpendicular trazada a la trayectoria, pero el error cometido al tomar una u otra no ocasiona problema alguno, debido a que las pendientes sobre el terreno de todas las trayectorias son pequeñas.

La obtención de dicha distancia mínima se basa en dos operaciones:

1) Cálculo de la distancia mínima a la traza de la trayectoria sobre el terreno, cuya forma general es la mostrada en la figura 3, con dos tramos rectos y uno curvo intermedio. Ello se realiza calculando analíticamente la distancia mínima a los dos segmentos rectos, y la distancia mínima al tramo curvo se calcula dividiendo la curva en  $n$  puntos separados 500 metros y evaluando la distancia de cada uno de ellos al punto de observación. De todas las distancias calculadas se toma la menor de ellas. Si además se ha tenido en cuenta la distancia recorrida por el avión desde el comienzo del recorrido podemos pasar a la segunda operación.

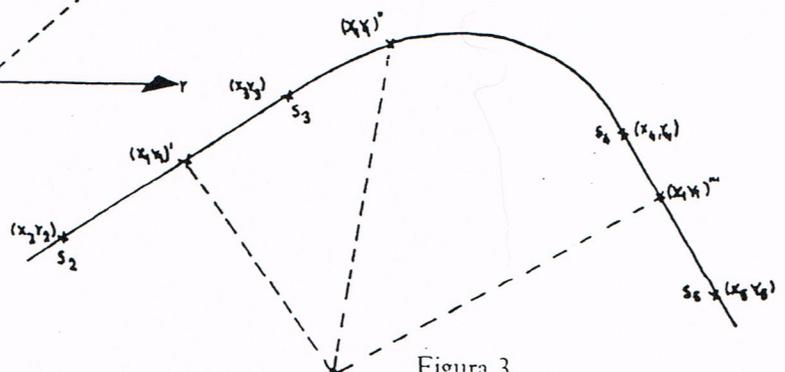


Figura 3

2) Cálculo de la altura del avión sobre el punto de observación: basándose en el perfil de despegue y aterrizaje y en la cota geográfica de dicho punto - Figura 4.

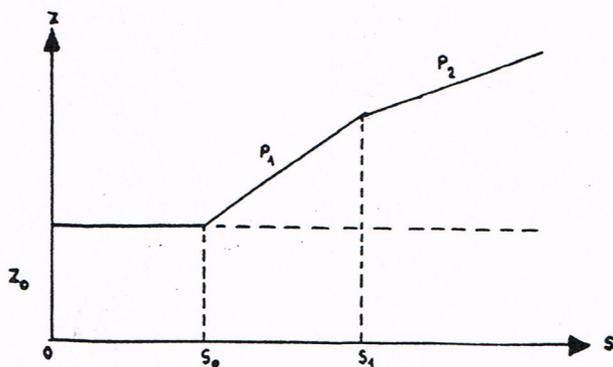


Figura 4

Los datos así obtenidos, distancia mínima a la traza y altura avión-observador, nos permiten obtener la mínima distancia avión-observador.

Todo lo mencionado anteriormente se aplicará para cada trayectoria y para cada uno de los perfiles.

También será posible determinar el ángulo de inclinación de la visual al horizonte, que será utilizado para calcular los efectos de atenuación superficial y apantallamiento del fuselaje.

## FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL ESTUDIO

1) Trayectorias sobre el terreno descritas por las aeronaves:

Las rutas a alcanzar por el tráfico aéreo están establecidas en las cartas de navegación de las diferentes aeronaves, pero hasta llegar a ellas los aviones evolucionan de muy diversas maneras.

Las trayectorias tomadas como base en este estudio, son las indicadas en la Figura 5, que se dividen en procedimientos de despegue y aterrizaje y han sido fijadas por observación directa de las operaciones.

Excluyendo la ruta número 1 que se utiliza con suficiente aproximación, para el resto de rutas se definió una franja de terreno, por la cual mediante observación directa se apreció el paso de un elevado tanto por ciento de aeronaves. En dicha franja hemos introducido tres posibles trayectorias tipo, a las cuales se les asigna la probabilidad de paso del 25%, 50% y 25% del tráfico total, que aproximadamente siguen una distribución normal.

En cuanto a los procedimientos de aterrizaje las rutas procedentes de Barcelona, se han dividido en cinco posibles trayectorias para alcanzar la de aterrizaje instrumental, por la incidencia que dichas rutas suponen en contaminación acústica de la ciudad de Valencia y cuyas probabilidades de paso son: Ruta 21: 10%; Ruta 22: 20%; Ruta 23: 40%; Ruta 24: 20%; Ruta 25: 10%.

2) Elección de perfiles de despegue y aterrizaje:

La tendencia general en todas las aeronaves en la operación de despegue, es mantener un régimen de ascenso de 1500 ft/min hasta nivel 150 (Medición barométrica de altitudes en "atmósfera normal", que equivale a 1500 ft aproximadamente) y a partir de dicho punto adquieren un régimen de ascenso de 1000 ft/min.

Como se aprecia en la Figura 6, se han clasificado todos los aviones que operan en el aeropuerto en tres clases: de 2 motores, 3 motores y 4 motores, debiéndose la diferencia de pendientes a las distintas velocidades que utilizan.

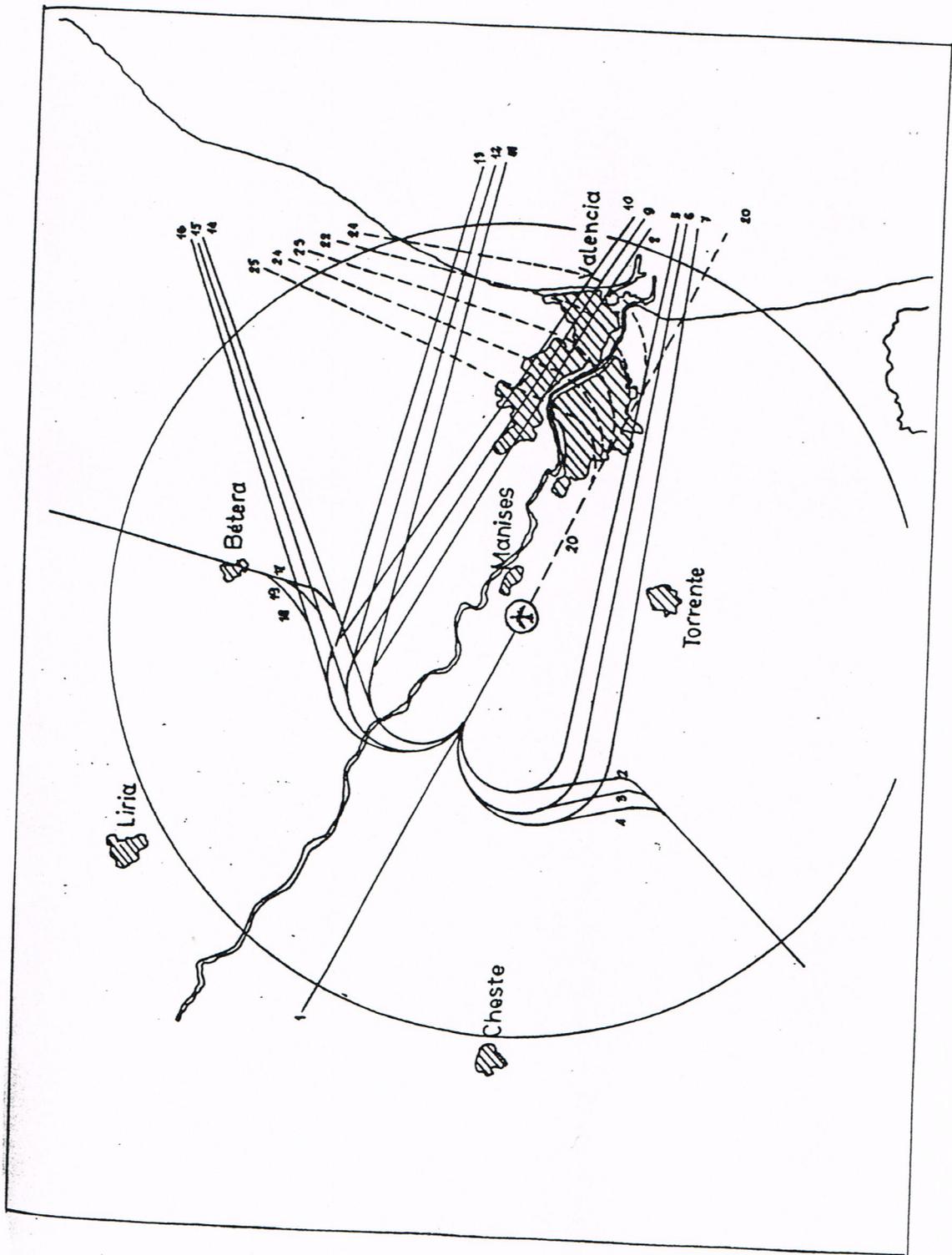


Figura 5

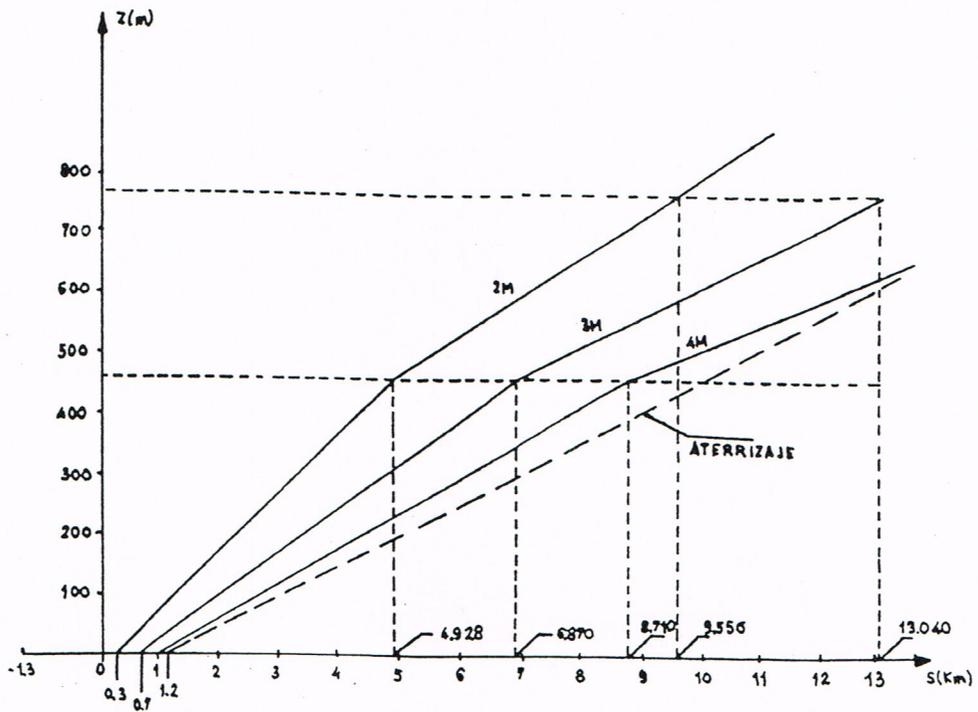


Figura 6

En cuanto al perfil de aterrizaje se toma como base el de aproximación instrumental, cuya característica es la de tener una pendiente de  $3^\circ$  con respecto al plano horizontal.

### 3) Condiciones meteorológicas:

Uno de los factores que más afectan al ruido percibido en un punto de observación es el clima de la zona; debiéndose las variaciones de los niveles sonoros fundamentalmente a los gradientes de temperatura y a la velocidad y dirección del viento. En este estudio se considera una atmósfera standard, en donde se toma:

Temperatura :  $25^\circ\text{C}$   
 Humedad :  $70\%$   
 Velocidad de viento : 0 nudos

que es la exigida para certificación de aviones en cuanto a ruido, y que coincide aproximadamente con la media de la zona.

### 4) Tráfico del aeropuerto:

Se toma como referencia en este estudio, los últimos datos recogidos, referentes al mes de Agosto, que representa el máximo de todo el año, repartiéndolo entre todas las rutas según las probabilidades de paso antes mencionadas.

### 5) Atenuación superficial:

Cuando un avión en la ejecución de una operación se encuentra en las proximidades del suelo, se produce una atenuación, denominada "atenuación superficial", a causa de los gradientes de temperatura y absorción del terreno, dependiendo dicha atenuación del ángulo de elevación  $\beta$ .

La evaluación de este fenómeno se realiza calculando un factor de corrección, el cual será restado del valor del nivel efectivo percibido EPNL.

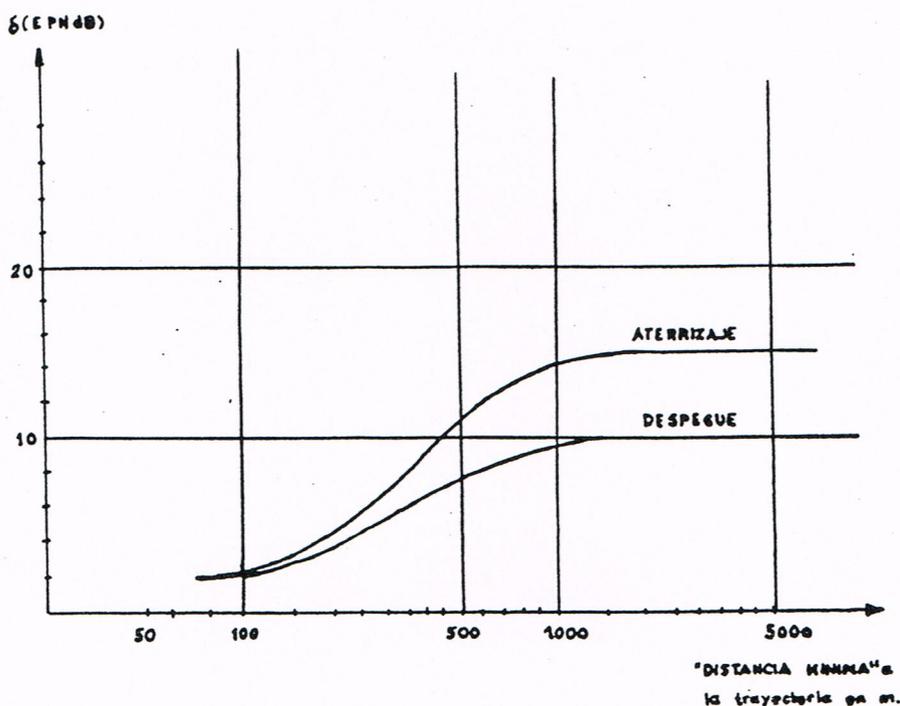


Figura 7

Dicho factor en unidades EPNdB viene dado por la expresión:

$$A_1 = \delta e^{-\sqrt{\text{tg } 3\beta}}$$

en donde el coeficiente  $\delta$  podemos obtenerlo a partir de las curvas mostradas en la Figura 7.

#### 6) Efecto del apantallamiento del fuselaje:

Quando el avión se encuentra sobre la pista o próximo a ella aparece este efecto en los puntos situados a un lado de la trayectoria debido a que el fuselaje obstaculiza la transmisión del ruido producido por los motores situados en el lado opuesto.

La atenuación del nivel global debido a este fenómeno es función del ángulo  $\beta$  antes citado, calculándose mediante la expresión:

$$A_2 = 3 (1 - \sqrt{\text{sen } \beta})$$

que también se restará al nivel de ruido percibido EPNL.

#### 7) Curvas de ruido en función de la distancia:

La obtención de curvas de nivel efectivo de ruido percibido en función de la distancia mínima avión-observador, se basa en el conocimiento de curvas análogas debidas a Bolt, Beranek y Newman, que fueron obtenidas a partir de gran número de observaciones, tanto de maniobras regulares como de vuelos controlados.

A la vista de la antigüedad de dichas curvas, parece oportuno realizar una revisión de las mismas, pues en la actualidad, los mismos modelos han sido mejorados, dando lugar a un menor nivel sonoro.

Una primera etapa fue la búsqueda de un modelo teórico que obtuviera la forma de dichas curvas, pasándose a continuación a una segunda etapa consistente en la realización de diversas medidas de sobrevuelos para disponer de una nube de puntos suficiente.

Dichas medidas proporcionan los da-

tos suficientes para determinar, en función del tiempo y por bandas de tercio de octava, el ruido producido por las aeronaves durante el sobrevuelo.

Se observó que las curvas EPNL función distancia eran similares a las de referencia y basándose en las muestras tomadas sobre diversos puntos del terreno, determinamos la diferencia existente entre las curvas actuales y las de referencia.

Representando gráficamente los valores de los niveles efectivos de ruido percibido en función de la distancia, Figuras 8, 9, 10, 11, 12 y 13, obtenemos para cada tipo de avión y operación una nube de puntos, cuyos niveles son comparados con los de referencia, calculando para cada pareja de valores la diferencia existente, pudiendo a partir de ellos evaluar en cuanto hay que disminuir la altura de las curvas de referencia para que se verifiquen los valores medidos. Dicha operación se realizó calculando los valores medios de las diferencias de niveles, para cada tipo de avión y operación, tal y como se refleja en la tabla:

		$\bar{x}$	s	$s^2$
DC-9 (2 M.)	D.	5,30	2,34	5,48
	A.	4,60	2,32	5,40
B727 (3 M.)	D.	5,30	3,02	9,13
	A.	5,50	3,08	9,51
SDC8 (4 M.)	D.	5,40	2,83	8.—
	A.	5,20	2,66	7,05

### COMPROBACION EXPERIMENTAL

Para realizar la comprobación experimental de los resultados obtenidos compararemos los niveles efectivos de ruido percibido obtenidos mediante la aplicación del modelo, con los valores medidos mediante la aplica-

ción del modelo, con los valores medidos en los diferentes puntos de medición. Las coordenadas de los puntos de medición son introducidas en el programa principal, para evaluar los niveles que en ellos se producen para las distintas rutas y tipos de avión, tal y como se muestra en la tabla:

### PUNTO Nº 3

PUNTO 56 , 3350

Coordenadas : X = 1873 Y = 2777

Cota : Z = 90

	2M	3M	4M
Ruta 1	102,95	109,22	119,61
Ruta 2	102,87	109,06	119,15
Ruta 3	102,87	109,06	119,15
Ruta 4	102,87	109,06	119,15
Ruta 5	102,87	109,06	119,15
Ruta 6	102,87	109,06	119,15
Ruta 7	102,87	109,06	119,15
Ruta 8	102,87	109,06	119,15
Ruta 9	102,87	109,06	119,15
Ruta 10	102,87	109,06	119,15
Ruta 11	102,87	109,06	119,15
Ruta 12	102,87	109,06	119,15
Ruta 13	102,87	109,06	119,15
Ruta 14	102,87	109,06	119,15
Ruta 15	102,87	109,06	119,15
Ruta 16	102,87	109,06	119,15
Ruta 17	102,87	109,06	119,15
Ruta 18	102,87	109,06	119,15
Ruta 19	102,87	109,06	119,15
Ruta 20	44,95	46,05	50,35
Ruta 21	44,95	46,05	50,35
Ruta 22	44,95	46,05	50,35
Ruta 23	44,95	46,05	50,35
Ruta 24	44,95	46,05	50,35
Ruta 25	44,95	46,05	50,35

Como en las distintas mediciones se tuvo en cuenta la trayectoria por la cual transitaba el avión, podemos comparar los niveles medidos con los extraídos del modelo, así por ejemplo en el punto 3 de coordenadas  $\Theta = 56^\circ$  y  $\rho = 3350$  m. se obtiene el cuadro que se muestra.

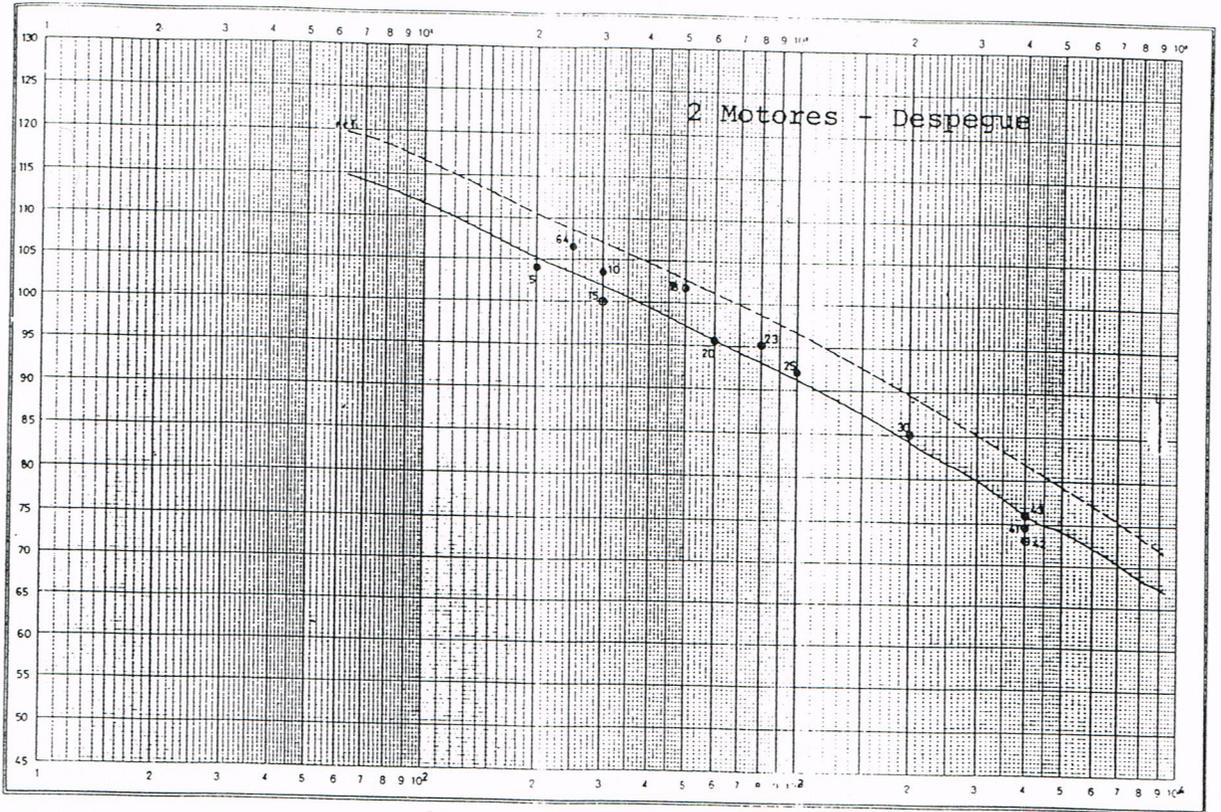


Figura 8

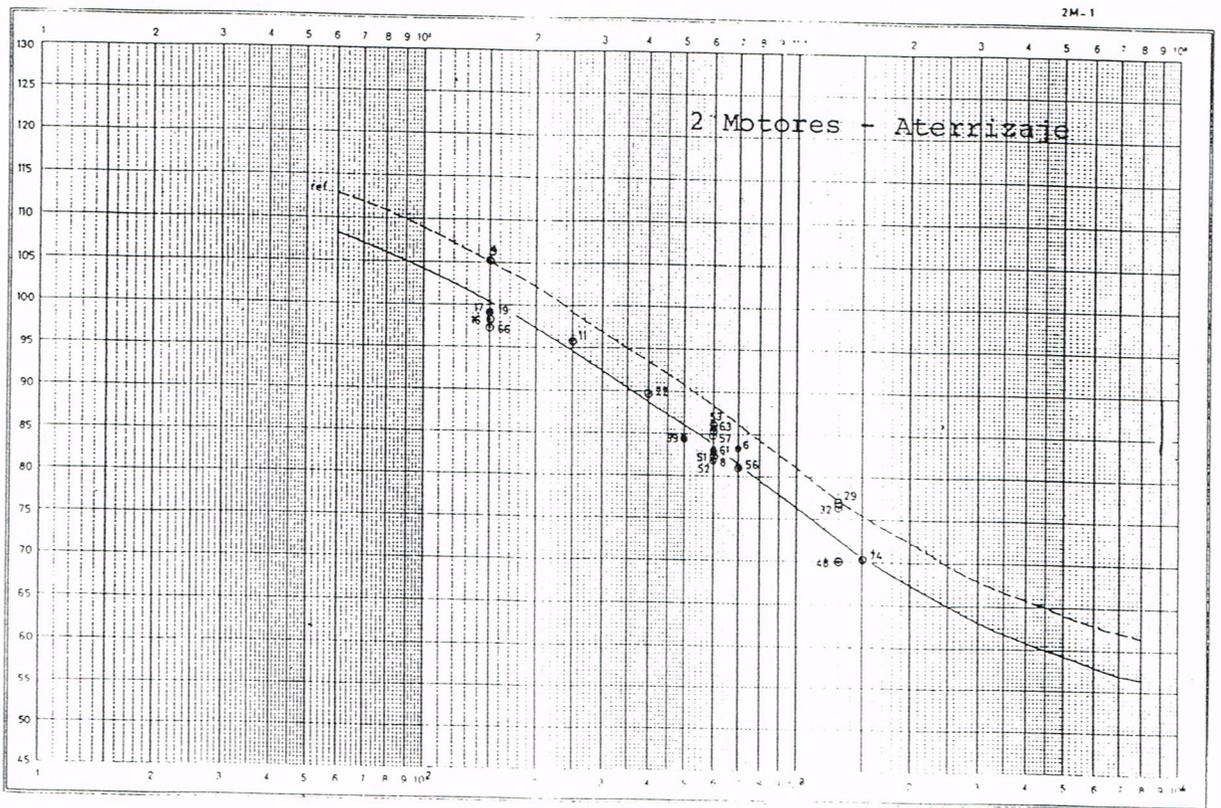


Figura 9

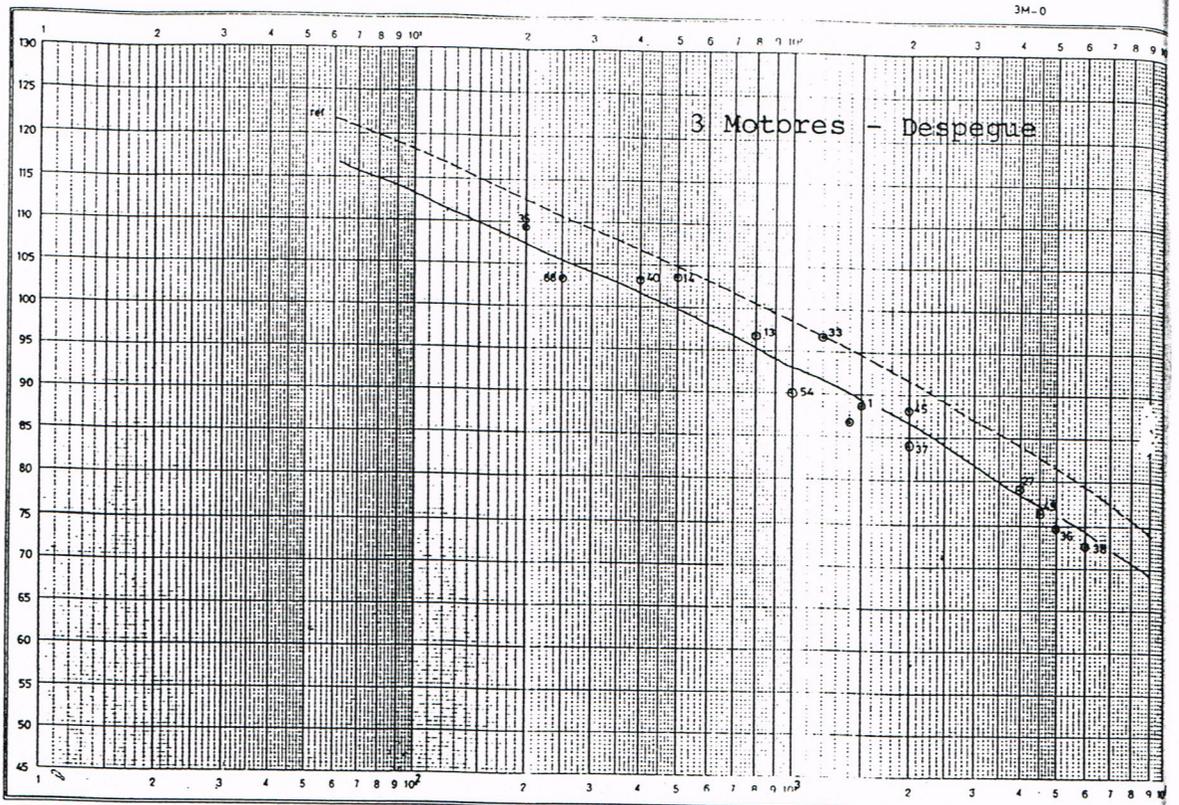


Figura 10

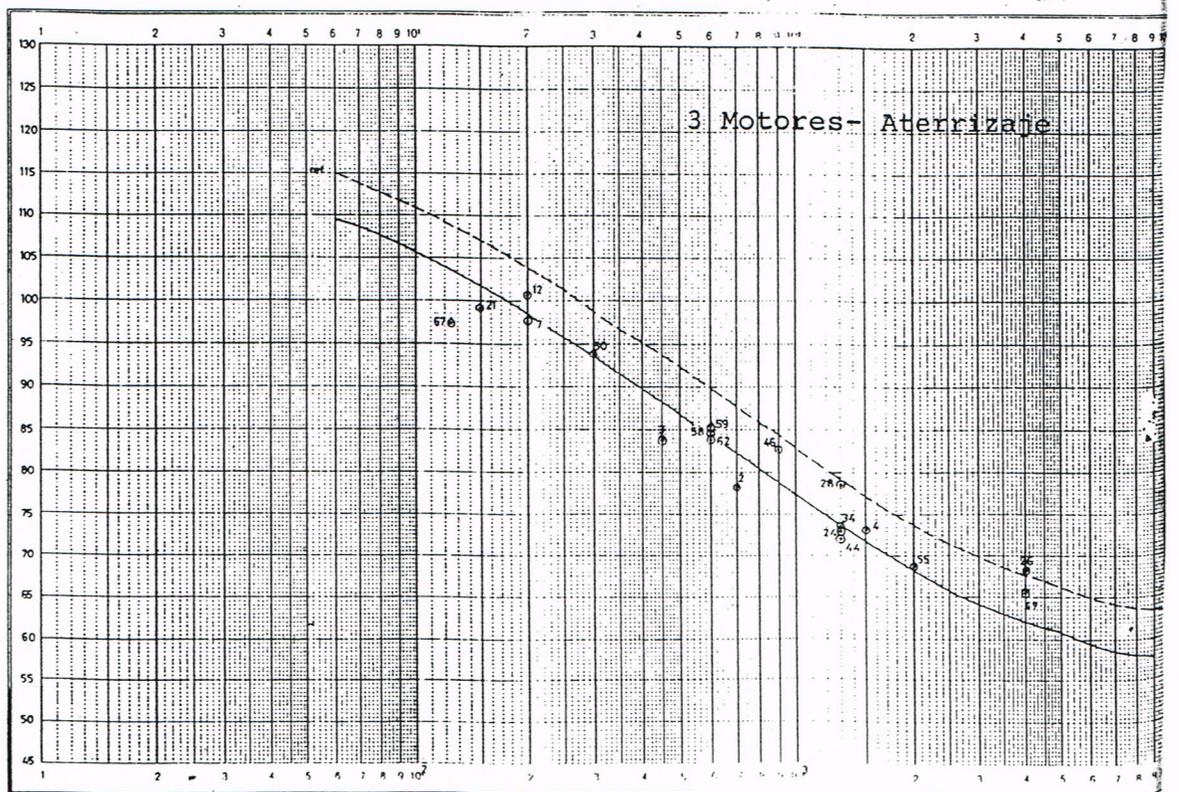


Figura 11

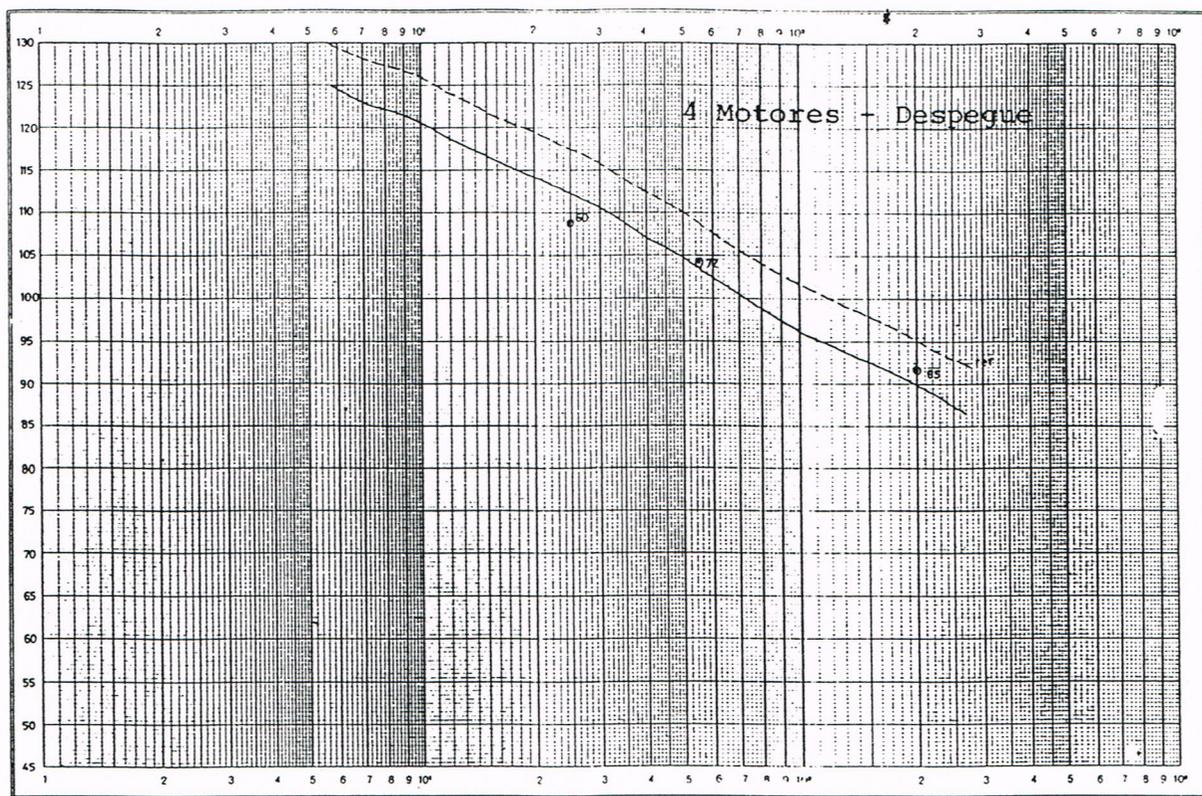


Figura 12

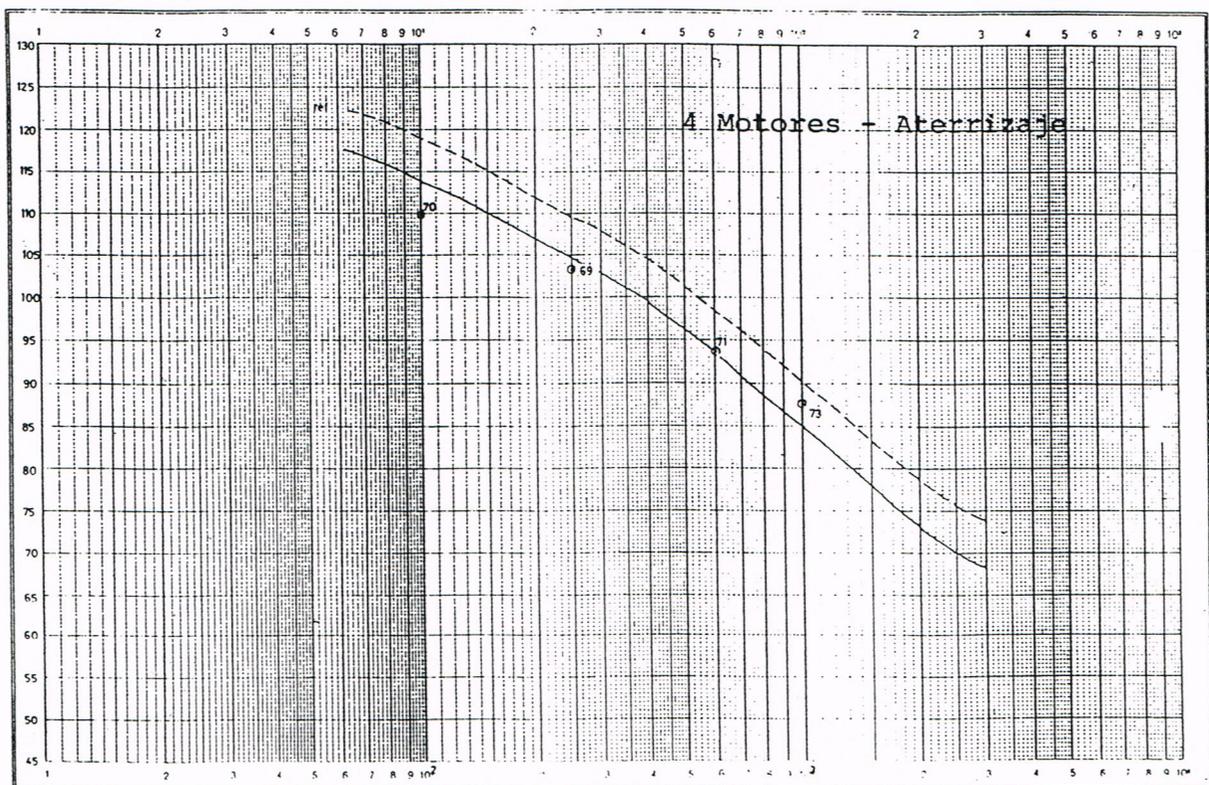


Figura 13

Nº AVION	RUTA	Nº MOTORES	EPNL MED.	EPNL MODELO	EPNL	%
5	1	2;D	104,00	102,95	- 1,05	- 1,01
10	1	2;D	103,50	102,95	- 0,55	- 0,53
15	1	2;D	100,00	102,95	2,95	2,95
18	1	2;D	101,77	102,95	1,18	1,16
35	1	3;D	109,30	109,22	- 0,16	- 0,15
64	1	2;D	106,57	102,95	- 3,62	- 3,40

Realizado un análisis estadístico de las cantidades que indican el % de error cometido en el cálculo del nivel efectivo de ruido percibido con relación a los niveles medidos, se vio que dichos valores se distribuyen según una distribución normal, como se indica en la Figura 14, en donde se aprecia el bajo tanto por ciento de error cometido mediante la aplicación del modelo. Por otro lado se observa que para más del 99% de las mediciones el error cometido es menor del 10%.

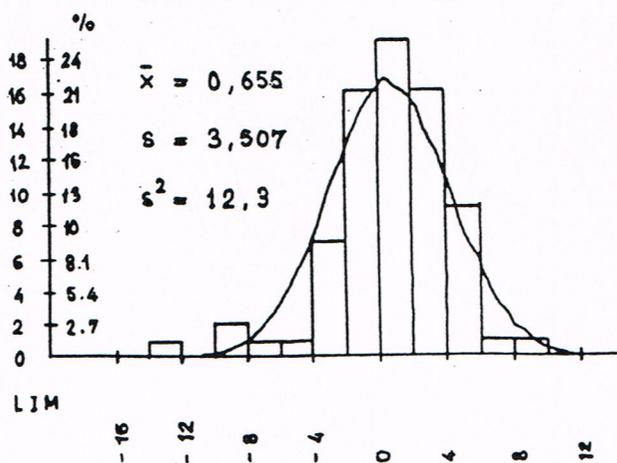


Figura 14

Una vez obtenidos los niveles en cada punto del retículo adoptado, tratamos de obtener las curvas isofónicas correspondien-

tes, mediante un método adecuado de interpolación.

Un ejemplo de los 75 mapas sonoros obtenidos se muestra en la Figura 15, y las curvas de igual nivel WECPNL se muestran en la Figura 16.

## CONCLUSIONES

- 1) Se comprueba experimentalmente la forma actual de las curvas de nivel de ruido percibido en función de la distancia.
- 2) Se propone un modelo matemático que proporciona los niveles sonoros, en términos de nivel efectivo de ruido percibido (EPNL), para las diferentes trayectorias y tipos de aviones que evolucionan en el aeropuerto de Valencia.

Mediante la aplicación del citado modelo, podemos conocer las huellas sonoras sobre el terreno, originadas por cada aeronave que opera en el aeropuerto.

- 3) Mediante la hipótesis de tráfico utilizada hemos podido dibujar las curvas de igual nivel

Ruta 1  
2 BRD

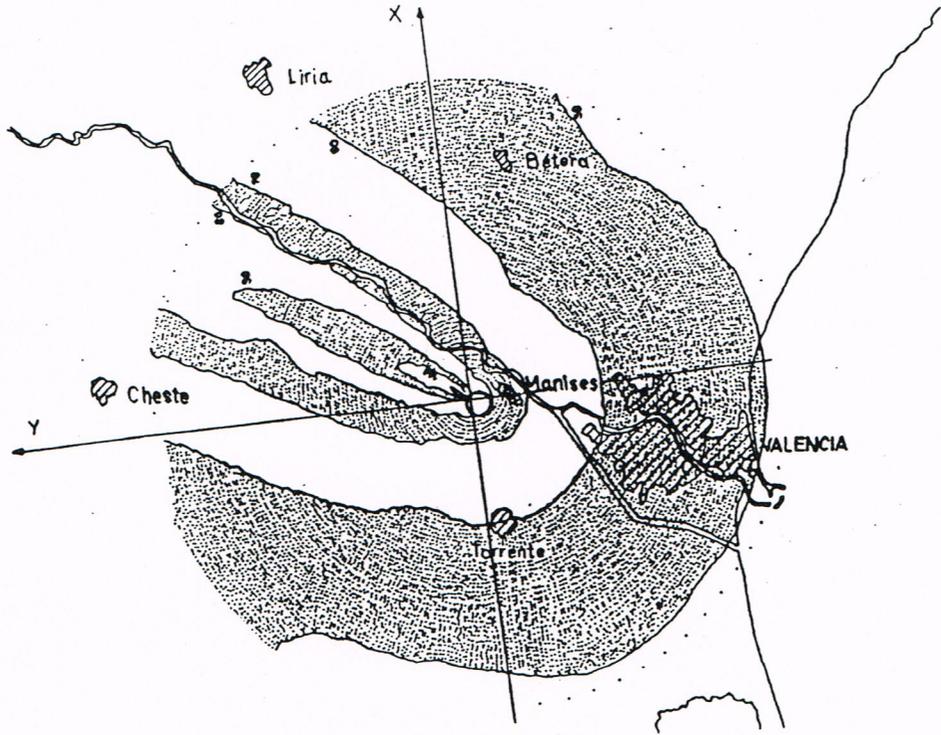


Figura 15

WECPNL

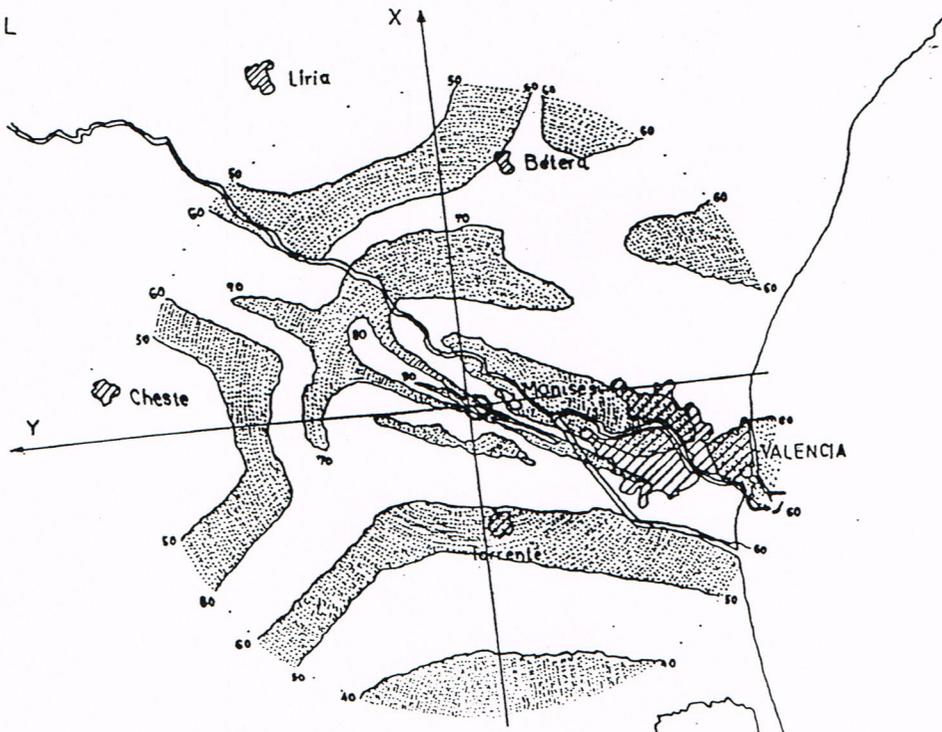


Figura 16

ponderado WECPNL, que tienen por objeto realizar una estimación de la molestia ocasionada por el Aeropuerto de Valencia sobre las zonas colindantes. Dicha representación gráfica nos permite definir dos zonas en las cuales la influencia del ruido sobre las personas es altamente perjudicial. Dichas zonas son las comprendidas dentro de las líneas WECPNL 78 y WECPNL 88 teniendo en cuenta las normas internacionales.

La extensión del terreno dentro de la curva WECPNL 88 es de 2 Km<sup>2</sup>, mientras que la zona comprendida en la de 78 y 88 es de 10 Km<sup>2</sup>, tal y como se muestra en la Figura 17.

Hacemos observar que las zonas definidas en este estudio, en realidad serían mucho más extensas, debido a que en el aeropuerto de Valencia, la pista principal es compartida por la Base Aérea y la Base Civil, estando el estudio centrado en la parte civil.

La importancia de este trabajo radica en tres puntos fundamentales:

1) Situación actual, en cuanto a molestias ocasionadas sobre las zonas colindantes al aeropuerto.

2) Conocer con antelación la contaminación acústica que originaría el establecimiento de nuevos aeropuertos o la ampliación de los ya existentes.

3) Posibilidad de elegir una adecuada ubicación de los aeropuertos, de acuerdo con la contaminación acústica que originan.

Se sientan las bases para un ulterior desarrollo del tema, en el sentido de:

a) Contemplar la influencia de los niveles sonoros sobre las personas, estudiando los efectos que dicho ruido ocasiona en las actividades normales desarrolladas por los individuos y en consecuencia las alteraciones físicas y psíquicas que pueden aparecer con este tipo de contaminación.

b) Estudiar las diferentes posibilidades de atenuación del ruido.

