

I. DISPOSICIÓN XERAIS

MINISTERIO DA PRESIDENCIA, RELACIÓNS COAS CORTES E IGUALDADE

17008 Orde PCI/1319/2018, do 7 de decembro, pola que se modifica o anexo II do Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, polo que se desenvolve a Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, no referente á avaliación do ruído ambiental.

A Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeo e do Consello, do 25 de xuño de 2002, sobre avaliación e xestión do ruído ambiental, ten como obxectivo establecer un enfoque común destinado a evitar, previr ou reducir con carácter prioritario os efectos nocivos, incluíndo as molestias, da exposición ao ruído ambiental.

Para iso, determinárase a exposición ao ruído ambiental a través da cartografía do ruído con métodos de avaliación comúns, garantírase a dispoñibilidade pública da información relativa ao ruído ambiental e aos seus efectos e adoptáranse plans de acción baseados nos resultados da cartografía do ruído, con vistas a previr e reducir o ruído ambiental.

Para avaliar a exposición ao ruído ambiental, a norma europea establece no seu anexo II os métodos de avaliación para os indicadores de ruído recollidos no seu artigo 6. Así mesmo, no seu artigo 12 establece que a Comisión adaptará ao progreso técnico e científico, entre outros, o citado anexo II.

Esta directiva traspúxose ao ordenamento xurídico español mediante a Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, e dous reais decretos que a desenvolven, en concreto, o Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, polo que se desenvolve a Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, no referente á avaliación e xestión do ruído ambiental, e o Real decreto 1367/2007, do 19 de outubro, polo que se desenvolve a Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, no referente á zonificación acústica, obxectivos de calidade e emisións acústicas.

O Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, ten por obxecto a avaliación e xestión do ruído ambiental coa finalidade de previr, reducir ou evitar os efectos nocivos, incluíndo as molestias derivadas da exposición ao ruído ambiental, de conformidade co disposto na Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeo e do Consello, do 25 de xuño de 2002. Desenvolve as previsións legais relativas aos índices de ruído que se deben considerar na preparación e revisión dos mapas estratéxicos de ruído e que se detallan no anexo I, así como os métodos de avaliación para determinar tales índices, que se especifican no anexo II.

En xullo de 2015 publicouse no «Diario Oficial de la Unión Europea» a Directiva 2015/996 da Comisión, do 19 de maio de 2015, pola que se establecen métodos comúns de avaliación do ruído en virtude da Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeo e do Consello. Mediante esta nova directiva substitúese o anexo II da Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeo e do Consello, do 25 de xuño de 2002.

Co obxectivo de dar cumprimento ás obrigas do Reino de España como Estado membro, apróbase a presente orde mediante a cal se traspón a Directiva (UE) 2015/996 da Comisión ao ordenamento xurídico español e se substitúe o anexo II do Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, para a súa adaptación ao progreso técnico.

Coa modificación do anexo II do Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, substitúense os métodos de cálculo dos índices de ruído L_{den} e L_n , utilizados actualmente para avaliar o ruído industrial, o ruído de aeronaves, o ruído de trens e o ruído do tráfico rodado, por unha metodoloxía común de cálculo desenvolvida pola Comisión Europea a través do proxecto «Métodos comúns de avaliación do ruído en Europa (CNOSSOS-EU)». A utilización desta metodoloxía será vinculante para os Estados membros a partir do 31 de

decembro de 2018, xa que deixarán de ser aplicables os métodos do actual anexo II que, tal e como sinalan os respectivos artigos 6.2 da Directiva 2002/49/CE e do propio Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, só estarían en vigor mentres non se adoptasen os métodos que agora se establecen.

Esta orde ten o seu fundamento constitucional no artigo 149.1, ordinais 16.^a e 23.^a da Constitución, que lle atribúen ao Estado, respectivamente, as competencias exclusivas en materia de lexislación básica sobre bases e coordinación xeral da sanidade e en materia de protección do ambiente, sen prexuízo das facultades das comunidades autónomas de estableceren normas adicionais de protección.

En virtude do artigo 13 da Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, o Goberno regulará «os métodos de avaliación para determinar os valores dos índices acústicos aludidos no artigo 12 e os correspondentes efectos da contaminación acústica». Así mesmo, de acordo coa súa disposición derradeira segunda, habilítase o Goberno para ditar as normas de desenvolvemento que requira a dita lei. Polo demais, a través da habilitación contida na disposición derradeira segunda, número 2, do Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, polo que se desenvolve a Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, no referente á avaliación e xestión do ruído ambiental, facúltanse os ministerios de Sanidade e Consumo e de Medio Ambiente, hoxe Ministerio de Sanidade, Consumo e Benestar Social e Ministerio para a Transición Ecolóxica, para introduciren conxunta ou separadamente, segundo as materias de que se trate e no ámbito das súas competencias, cantas modificacións sexan precisas para mantelo adaptado ás innovacións que se produzan na normativa europea.

Esta orde ministerial dítase de acordo cos principios de boa regulación e, en concreto, cos de necesidade, eficacia, proporcionalidade, seguridade xurídica, transparencia e eficiencia, en canto ao seu contido e tramitación, de conformidade co disposto no artigo 129 da Lei 39/2015, do 1 de outubro, do procedemento administrativo común das administracións públicas.

Con carácter previo a redactar esta norma substanciouse a consulta pública regulada no artigo 133 da Lei 39/2015, do 1 de outubro, do procedemento administrativo común das administracións públicas, en relación co artigo 26 da Lei 50/1997, do 27 de novembro, do Goberno. Na súa elaboración foron consultadas as comunidades autónomas e as entidades representativas dos sectores afectados; así mesmo, someteuse ao trámite de información pública e remitiuse ao Consello Asesor de Medio Ambiente en aplicación das previsións da Lei 27/2006, do 18 de xullo, pola que se regulan os dereitos de acceso á información, de participación pública e de acceso á xustiza en materia de ambiente (incorpora as directivas 2003/4/CE e 2003/35/CE).

Na súa virtude, por proposta das ministras para a Transición Ecolóxica e de Sanidade, Consumo e Benestar Social, de acordo co Consello de Estado, dispoño:

Artigo único. *Modificación do anexo II do Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, polo que se desenvolve a Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, no referente á avaliación do ruído ambiental.*

Substitúese o contido do anexo II do Real decreto 1513/2005, do 16 de decembro, polo que se desenvolve a Lei 37/2003, do 17 de novembro, do ruído, no referente á avaliación do ruído ambiental, polo novo contido do anexo incluído nesta orde.

Disposición derradeira primeira. *Fundamento constitucional e carácter básico.*

Esta orde dítase ao abeiro das competencias exclusivas que ao Estado lle outorga o artigo 149.1.16.^a e 23.^a da Constitución española en materia de bases e coordinación xeral da sanidade e de lexislación básica sobre protección do ambiente, sen prexuízo das facultades das comunidades autónomas de estableceren normas adicionais de protección.

Disposición derradeira segunda. *Incorporación do dereito da Unión Europea.*

Mediante esta orde incorpórase ao dereito español a Directiva 2015/996 da Comisión, do 19 de maio de 2015, pola que se establecen métodos comúns de avaliación do ruído en virtude da Directiva 2002/49/CE do Parlamento Europeo e do Consello.

Disposición derradeira terceira. *Entrada en vigor.*

Esta orde entrará en vigor o día 31 de decembro de 2018.

Madrid, 7 de decembro de 2018.—A vicepresidenta do Goberno e ministra da Presidencia, Relacións coas Cortes e Igualdade, Carmen Calvo Poyato.

ANEXO

"ANEXO II

MÉTODOS DE AVALIACIÓN PARA OS INDICADORES DE RUÍDO

(aos cales se fai referencia no artigo 6 do Real decreto 1513/2005)

1. INTRODUCCIÓN.

Os valores L_{den} e L_n determinaranse mediante un cálculo no punto de avaliación, segundo o método estipulado no capítulo 2 e os datos descritos no capítulo 3. As medicións poderán realizarse conforme o estipulado no capítulo 4.

2. MÉTODOS COMÚNS PARA A AVALIACIÓN DO RUÍDO.

2.1. Disposicións xerais — Ruído do tráfico viario, do tráfico ferroviario e ruído industrial

2.1.1. Indicadores, gama de frecuencias e definicións de banda.

Os cálculos de ruído definiranse na gama de frecuencias das bandas de oitava comprendidas entre 63 Hz e 8 KHz. Os resultados da banda de frecuencias facilitaranse no intervalo de frecuencias correspondente.

Os cálculos realízanse por bandas de oitava para o ruído do tráfico viario, do tráfico ferroviario e industrial, salvo para a potencia sonora da fonte de ruído ferroviario, que usa bandas de terzo de oitava. No caso do ruído do tráfico viario, do tráfico ferroviario e industrial, conforme estes resultados de banda de oitava, o nivel sonoro medio a longo prazo con ponderación A para o día, a tarde e a noite, tal e como se establece no anexo I e no artigo 5 da Directiva 2002/49/CE, calcúlase mediante a suma de todas as frecuencias.

$$L_{Aeq,T} = 10 \times \lg \sum_{i=1} 10^{(L_{eq,T,i} + A_i)/10} \quad (2.1.1)$$

Onde:

A_i indica a corrección con ponderación A segundo a norma CEI 61672-1.

i = índice da banda de frecuencias.

e T é o período de tempo correspondente ao día, á tarde ou á noite.

Parámetros do ruído:

L_p	Nivel instantáneo de presión sonora	[dB] (re. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa)
$L_{Aeq,LT}$	Nivel sonoro continuo equivalente global (total) a longo prazo L_{Aeq} debido a todas as fontes e a fonte de imaxe no punto R	[dB] (re. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa)
L_w	Nivel de potencia sonora «in situ» dunha fonte puntual (en movemento ou constante)	[dB] (re. 10^{-12} W)
$L_{w,i,dir}$	Nivel de potencia sonora «in situ» direccional para a banda de frecuencias i	[dB] (re. 10^{-12} W)
L_w'	Nivel medio de potencia sonora «in situ» por metro de fonte lineal	[dB/m] (re. 10^{-12} W)

Outros parámetros físicos:

p	Raíz cuadrática media (r.m.s.) da presión sonora instantánea	[Pa]
p_0	Presión sonora de referencia = $2 \cdot 10^{-5}$ Pa	[Pa]
W_0	Potencia sonora de referencia = 10^{-12} W	[watt]

2.1.2. Marco de calidade.

Precisión dos valores de entrada.

Todos os valores de entrada que afecten o nivel de emisións dunha fonte se determinarán polo menos cunha precisión correspondente a unha incerteza de $\pm 2\text{dB(A)}$ no nivel de emisións da fonte (deixando invariables todos os demais parámetros).

Uso dos valores por defecto.

Ao aplicar o método, os datos de entrada reflectirán o uso real. En xeral, non se utilizarán valores de entrada por defecto nin estimados. Os valores de entrada por defecto e os estimados acéptanse se a recompilación de datos reais supón custos moi altos.

Calidade do software usado para os cálculos

O software utilizado para realizar os cálculos deberá acreditar a conformidade cos métodos aquí descritos mediante unha certificación de resultados derivados dos ensaios realizados.

O software utilizado para o cálculo dos niveis de ruído no ambiente exterior deberá cumprir os requirimentos establecidos na norma ISO 17534 no referente á calidade e garantía de calidade acústica e ás recomendacións xerais para os ensaios (test) e interface de control de calidade, así como as recomendacións para a aplicación do control de calidade na execución dos métodos descritos neste anexo polo software de acordo coa norma ISO 17534-1.

2.2. Ruído do tráfico viario.

2.2.1. Descrición da fonte.

Clasificación dos vehículos.

A fonte de ruído do tráfico viario determinarase mediante a combinación da emisión de ruído de cada un dos vehículos que forman o fluxo do tráfico. Estes vehículos agrúpanse en cinco categorías independentes en función das características que posúan en canto á emisión de ruído:

- Categoría 1: vehículos lixeiros
- Categoría 2: vehículos pesados medianos
- Categoría 3: vehículos pesados
- Categoría 4: vehículos de dúas rodas
- Categoría 5: categoría aberta

No caso dos vehículos de dúas rodas, defínense dúas subclases independentes para os ciclomotores e as motocicletas de maior potencia, xa que os modos de condución son diversos e, ademais, adoitan variar significativamente en número.

Usaranse as primeiras catro categorías e a quinta será opcional. Prevese o establecemento doutra categoría para os novos vehículos que poidan fabricarse no futuro que presenten características suficientemente diferentes en termos de emisións de ruído. Esta categoría podería englobar, por exemplo, os vehículos eléctricos ou híbridos ou calquera vehículo que se fabrique no futuro que difira significativamente dos das categorías 1 a 4.

Os detalles das diferentes clases de vehículos facilítanse no cadro [2.2.a].

Cadro [2.2.a]
Clases de vehículos

Categoría	Nome	Descrición	Categoría de vehículo en CE homologación de tipo do vehículo completo ¹⁾
1	Vehículos lixeiros	Turismos, camionetas \leq 3,5 toneladas, vehículos todo terreo ²⁾ , vehículos polivalentes ³⁾ , incluídos remolques e caravanas	M1 e N1
2	Vehículos pesados medianos	Vehículos medianos, camionetas $>$ 3,5 toneladas, autobuses, autocaravanas, entre outros, con dous eixes e dous pneumáticos no eixe traseiro	M2, M3 e N2, N3
3	Vehículos pesados	Vehículos pesados, turismos, autobuses, con tres ou máis eixes	M2 e N2 con remolque, M3 e N3
4	Vehículos de dúas rodas	4a) Ciclomotores de dous, tres e catro rodas	L1, L2, L6
		4b) Motocicletas con e sen sidecar, triciclos e cuadríciclos	L3, L4, L5, L7
5	Categoría aberta	A súa definición aterase ás futuras necesidades	N/A

Número e situación de fontes sonoras equivalentes.

Neste método, cada vehículo (categorías 1, 2, 3, 4 e 5) represéntase mediante unha fonte dun só punto que se irradia de maneira uniforme no semiespazo por riba do chan. A primeira reflexión sobre o pavimento trátase de maneira implícita. Como se ilustra na figura [2.2.a], esta fonte puntual sitúase a 0,05 m por riba do pavimento.

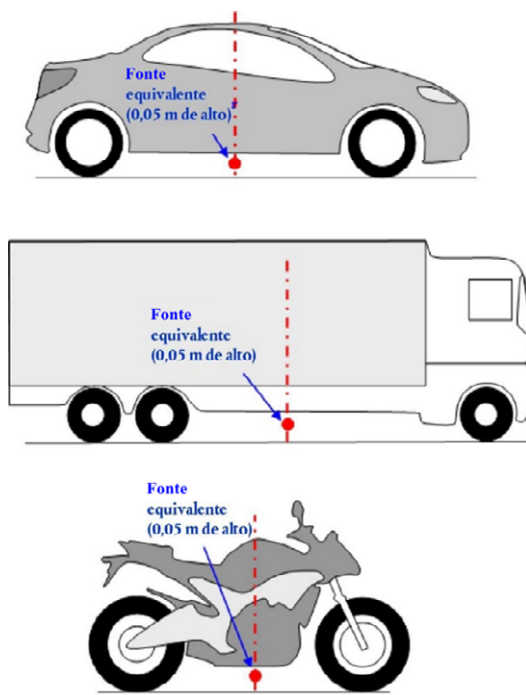
¹⁾ Directiva 2007/46/CE do Parlamento Europeo e do Consello, do 5 de setembro de 2007 (DO L 263, do 9.10.2007, p. 1), pola que se crea un marco para a homologación dos vehículos de motor e dos remolques, sistemas, compoñentes e unidades técnicas independentes destinados aos ditos vehículos.

²⁾ Vehículos todo terreo.

³⁾ Vehículos polivalentes.

Figura [2.2.a]

Localización da fonte puntual equivalente en vehículos lixeiros (categoría 1), vehículos pesados (categorías 2 e 3) e vehículos de dúas rodas (categoría 4)



O fluxo de tráfico represéntase mediante unha fonte lineal. Ao modelizar unha estrada con varios carrís, o ideal é representar cada carril cunha fonte lineal situada no centro de cada carril. Con todo, tamén se pode debuxar unha fonte lineal no medio dunha estrada de dobre sentido ou unha fonte lineal por cada calzada no carril exterior de estradas con varios carrís.

Nivel de potencia sonora (emisión)

Consideracións xerais.

A potencia sonora da fonte defínese no «campo semilibre», polo que a potencia sonora comprende o efecto da reflexión sobre o chan inmediatamente debaixo da fonte modelizada na cal non existen obxectos perturbadores na súa contorna máis próxima, salvo no caso da reflexión sobre o pavimento que non se produce inmediatamente debaixo da fonte modelizada.

Intensidade de tráfico.

A emisión dun fluxo de tráfico represéntase mediante unha fonte lineal caracterizada pola súa potencia sonora direccional por metro e por frecuencia. Isto correspóndese coa suma da emisión sonora de cada un dos vehículos do fluxo de tráfico, tendo en conta o tempo durante o cal os vehículos circulan polo tramo de estrada considerado. A implementación de cada vehículo do fluxo require a aplicación dun modelo de tráfico.

Se se supón un tráfico continuo de vehículos Q_m da categoría m por hora, cunha velocidade media de v_m (en km/h), a potencia sonora direccional por metro na banda de frecuencias i da fonte lineal $L_{W,eq,line,i,m}$ defínese mediante:

$$L_{W',eq,line,i,m} = L_{W,i,m} + 10 \times \lg \left(\frac{Q_m}{1\,000 \times v_m} \right) \quad (2.2.1)$$

onde

$L_{W,i,m}$ é o nivel de potencia sonora direccional dun único vehículo.

$L_{W',m}$ se expresa en dB (re. 10^{-12} W/m). Os niveis de potencia sonora calcúlanse para cada banda de oitava i comprendida entre 63 Hz e 8 kHz.

Os datos de intensidade de tráfico Q_m expresaranse como unha media anual horaria, por período de tempo (día, tarde e noite), por clase de vehículo e por fonte lineal. Para todas as categorías utilizaranse os datos de entrada de intensidade de tráfico derivados da medición de tráfico ou dos modelos de tráfico.

A velocidade v_m é unha velocidade representativa por categoría de vehículo: na maioría dos casos, é a velocidade máxima permitida máis baixa para o tramo de estrada e a velocidade máxima permitida para a categoría de vehículos. Se non están dispoñibles os datos de medicións locais, utilizarase a velocidade máxima permitida para a categoría de vehículos.

Vehículo individual.

Na consideración da circulación vehículos, suponse que todos os vehículos da categoría m circulan á mesma velocidade, é dicir, v_m , a velocidade media do fluxo de vehículos da categoría.

Un vehículo de estrada modelízase mediante un conxunto de ecuacións matemáticas que representan as principais fontes de ruído:

1. Ruído de rodada pola interacción producida polo contacto pneumático-calzada.
2. Ruído de propulsión producido pola forza de transmisión (motor, escape, etc.) do vehículo. O ruído aerodinámico incorpórase á fonte do ruído de rodada.

No caso dos vehículos lixeiros, medianos e pesados (categorías 1, 2 e 3), a potencia sonora total correspóndese coa suma enerxética do ruído de rodada e do ruído de propulsión. Polo tanto, o nivel de potencia sonora total das liñas de fontes $m = 1, 2$ ou 3 defínese mediante:

$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \times \lg(10^{L_{WR,i,m}(v_m)/10} + 10^{L_{WP,i,m}(v_m)/10}) \quad (2.2.2)$$

onde $L_{WR,i,m}$ é o nivel de potencia sonora para o ruído de rodada e $L_{WP,i,m}$ é o nivel de potencia sonora para o ruído de propulsión. Isto é válido para todas as gamas de velocidades. Para velocidades inferiores a 20 km/h, utilizarase o mesmo nivel de potencia sonora definido pola fórmula para $v_m = 20$ km/h.

Para os vehículos de dúas rodas (categoría 4), para a fonte só se considera o ruído de propulsión:

$$L_{W,i,m=4}(v_{m=4}) = L_{WP,i,m=4}(v_{m=4}) \quad (2.2.3)$$

Isto é válido para todos os rangos de velocidades. Para velocidades inferiores a 20 km/h, utilizarase o mesmo nivel de potencia sonora definido pola fórmula para $v_m = 20$ km/h.

2.2.2. Condicións de referencia.

Os coeficientes e as ecuacións de caracterización da fonte son válidos para as seguintes condicións de referencia:

- unha velocidade constante do vehículo;
- unha estrada sen pendente;
- unha temperatura do aire $\tau_{ref} = 20$ °C;
- un pavimento de referencia virtual, formado por aglomerado asfáltico denso 0/11 e pavimento mesturado SMA 0/11, cunha antigüidade de entre 2 e 7 anos e nun estado de mantemento representativo;
- un pavimento seco;
- pneumáticos sen cravos.

2.2.3. Ruído de rodada.

Ecuación xeral.

O nivel de potencia sonora do ruído de rodada na banda de frecuencias i para un vehículo da clase $m = 1, 2$ ou 3 defínese como:

$$L_{WR,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \times \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right) + \Delta L_{WR,i,m} \quad (2.2.4)$$

Os coeficientes $A_{R,i,m}$ e $B_{R,i,m}$ danse en bandas de oitava para cada categoría de vehículo e para unha velocidade de referencia $v_{ref} = 70$ km/h. $\Delta L_{WR,i,m}$ correspóndese coa suma dos coeficientes de corrección que se deben aplicar á emisión de ruído de rodada para condicións específicas do firme ou do vehículo diferentes das condicións de referencia:

$$\Delta L_{WR,i,m} = \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{studdedtyres,i,m} + \Delta L_{WR,acc,i,m} + \Delta L_{W,temp} \quad (2.2.5)$$

$\Delta L_{WR,road,i,m}$ representa o efecto que ten no ruído de rodada un pavimento con propiedades sonoras distintas ás do pavimento (superficie de rodada de referencia virtual, como se define no capítulo 2.2.2). Inclúe tanto o efecto na propagación coma na xeración.

$\Delta L_{studdedtyres,i,m}$ é un coeficiente de corrección que ten en conta o ruído de rodada maior dos vehículos lixeiros equipados con pneumáticos con cravos.

$\Delta L_{WR,acc,i,m}$ ten en conta o efecto que ten no ruído de rodada nunha intersección con semáforos ou unha glorieta. Integra o efecto que a variación de velocidade ten na emisión sonora.

$\Delta L_{W,temp}$ é un termo de corrección para unha temperatura media τ distinta da temperatura de referencia $\tau_{ref} = 20$ °C.

Corrección para os pneumáticos con cravos.

En situacións en que un número importante de vehículos lixeiros do fluxo de tráfico usan pneumáticos con cravos durante varios meses ao ano, terase en conta o efecto inducido no ruído de rodada. Para cada vehículo da categoría $m = 1$ equipado con pneumáticos con cravos, calcula un incremento do ruído de rodada en función da velocidade mediante as expresións seguintes:

$$\Delta_{stud,i}(v) = \begin{cases} a_i + b_i \times \lg(50/70) & v < 50 \text{ km/h} \\ a_i + b_i \times \lg(v/70) & 50 \leq v \leq 90 \text{ km/h} \\ a_i + b_i \times \lg(90/70) & v > 90 \text{ km/h} \end{cases} \quad (2.2.6)$$

onde os coeficientes a_i e b_i se proporcionan para cada banda de oitava.

O aumento da emisión de ruído de rodada obteríase tendo en conta unicamente a parte proporcional de vehículos lixeiros con pneumáticos con cravos durante un período limitado T_s (en meses) ao longo do ano. Se $Q_{stud,ratio}$ é a ratio da intensidade horaria de vehículos lixeiros equipados con pneumáticos con cravos que circulan nun período T_s (en meses), entón a proporción media anual de vehículos equipados con pneumáticos con cravos p_s exprésase mediante:

$$p_s = Q_{stud,ratio} \times \frac{T_s}{12} \quad (2.2.7)$$

A corrección resultante que se aplicará á emisión de potencia sonora de rodada debido ao uso de pneumáticos con cravos para vehículos da categoría $m = 1$ na banda de frecuencias i será:

$$\Delta L_{studdedtyres,i,m=1} = 10 \times \lg\left[(1 - p_s) + p_s \cdot 10^{\frac{\Delta_{stud,i,m=1}}{10}}\right] \quad (2.2.8)$$

Para os vehículos de todas as demais categorías non se aplicará ningunha corrección:

$$\Delta L_{\text{studdedtyres},i,m} \neq 1 = 0 \quad (2.2.9)$$

Efecto da temperatura do aire na corrección do ruído de rodada.

A temperatura do aire afecta a emisión de ruído de rodada; de feito, o nivel de potencia sonora de rodada diminúe cando aumenta a temperatura do aire. Este efecto introdúcese na corrección por tipo de pavimento. As correccións do pavimento adoitan avaliarse para unha temperatura do aire de $\tau_{\text{ref}} = 20$ °C. Se a temperatura do aire media anual en °C é diferente, a emisión do ruído de rodada corrixirase coa fórmula:

$$\Delta L_{W,\text{temp},m}(\tau) = K_m \times (\tau_{\text{ref}} - \tau) \quad (2.2.10)$$

O termo de corrección é positivo (é dicir, que o ruído aumenta) para temperaturas inferiores a 20 °C e negativo (é dicir, que o ruído diminúe) para temperaturas máis altas. O coeficiente K depende das características do pavimento e dos pneumáticos e , en xeral, reflicte certa dependencia da frecuencia. Aplicarase un coeficiente xenérico $K_{m=1} = 0,08$ dB/°C para vehículos lixeiros (categoría 1) e $K_{m=2} = K_{m=3} = 0,04$ dB/°C para vehículos pesados (categorías 2 e 3) para todos os pavimentos. O coeficiente de corrección aplicarase por igual a todas as bandas de oitava desde 63 ata 8 000 Hz.

2.2.4. Ruído de propulsión.

Ecuación xeral.

A emisión de ruído de propulsión comprende todas as contribucións do motor, o tubo de escape, as marchas, a caixa de cambios, as engrenaxes, a entrada de aire, etc. O nivel de potencia sonora do ruído de propulsión na banda de frecuencias i para un vehículo de clase m defínese como:

$$L_{WP,i,m} = A_{P,i,m} + B_{P,i,m} \times \frac{(v_m - v_{\text{ref}})}{v_{\text{ref}}} + \Delta L_{WP,i,m} \quad (2.2.11)$$

Os coeficientes $A_{P,i,m}$ e $B_{P,i,m}$ danse en bandas de oitava para cada categoría de vehículo e para unha velocidade de referencia $v_{\text{ref}} = 70$ km/h.

$\Delta L_{WP,i,m}$ correspóndese coa suma dos coeficientes de corrección que se deben aplicar á emisión de ruído de propulsión para condicións de condución específicas ou condicións rexionais diferentes das condicións de referencia:

$$\Delta L_{WP,i,m} = \Delta L_{WP,\text{road},i,m} + \Delta L_{WP,\text{grad},i,m} + \Delta L_{WP,\text{acc},i,m} \quad (2.2.12)$$

$\Delta L_{WP,\text{road},i,m}$ ten en conta o efecto do pavimento no ruído de propulsión debido á absorción. O cálculo realizarase conforme o especificado no capítulo 2.2.6.

$\Delta L_{WP,\text{acc},i,m}$ e $\Delta L_{WP,\text{grad},i,m}$ ten en conta o efecto das pendentes da estrada e da aceleración e desaceleración dos vehículos nas interseccións. Calcularanse segundo o previsto nos capítulos 2.2.4 e 2.2.5, respectivamente.

Efecto das pendentes da estrada.

A pendente da estrada ten dous efectos na emisión de ruído do vehículo: en primeiro lugar, afecta a velocidade do vehículo e , por conseguinte, a emisión de ruído de rodada e de propulsión do vehículo; en segundo lugar, afecta a carga e a velocidade do motor pola elección da marcha e , polo tanto, a emisión de ruído de propulsión do vehículo. Nesta sección só se aborda o efecto no ruído de propulsión supondo unha velocidade constante.

O efecto que a pendente da estrada ten no ruído de propulsión tense en conta mediante un termo de corrección $\Delta L_{WP,grad,m}$, que é unha función da pendente s (en %), a velocidade do vehículo v_m (en km/h) e a clase de vehículo m . No caso dunha circulación en dous sentidos, é necesario dividir o fluxo en dous compoñentes e corrixir a metade para a subida e a outra metade para a baixada. O termo de corrección atribúeselles a todas as bandas de oitava por igual:

Para $m = 1$

$$\Delta L_{WP,grad,i,m=1}(v_m) = \begin{cases} \frac{\text{Min}(12\%; -s) - 6\%}{1\%} & \text{para } s < -6\% \\ 0 & \text{para } -6\% \leq s \leq 2\% \\ \frac{\text{Min}(12\%;s) - 2\%}{1,5\%} \times \frac{v_m}{100} & \text{para } s > 2\% \end{cases} \quad (2.2.13)$$

Para $m = 2$

$$\Delta L_{WP,grad,i,m=2}(v_m) = \begin{cases} \frac{\text{Min}(12\%; -s) - 4\%}{0,7\%} \times \frac{v_m - 20}{100} & \text{para } s < -4\% \\ 0 & \text{para } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\text{Min}(12\%;s)}{1\%} \times \frac{v_m}{100} & \text{para } s > 0\% \end{cases} \quad (2.2.14)$$

Para $m = 3$

$$\Delta L_{WP,grad,i,m=3}(v_m) = \begin{cases} \frac{\text{Min}(12\%; -s) - 4\%}{0,5\%} \times \frac{v_m - 10}{100} & \text{para } s < -4\% \\ 0 & \text{para } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\text{Min}(12\%;s)}{0,8\%} \times \frac{v_m}{100} & \text{para } s > 0\% \end{cases} \quad (2.2.15)$$

Para $m = 4$

$$\Delta L_{WP,grad,i,m=4} = 0 \quad (2.2.16)$$

A corrección $\Delta L_{WP,grad,m}$ inclúe de forma implícita o efecto que a pendente ten na velocidade.

2.2.5. Efecto da aceleración e desaceleración dos vehículos.

Antes e despois das interseccións reguladas por semáforos e as glorietas, aplicarase unha corrección para o efecto da aceleración e a desaceleración, tal e como se describe a continuación.

Os termos de corrección para o ruído de rodada, $\Delta L_{WR,acc,m,k}$, e para o ruído de propulsión, $\Delta L_{WP,acc,m,k}$, son funcións lineais da distancia x (en m) desde a fonte puntual ata a intersección máis próxima da fonte lineal correspondente con outra fonte lineal. Estes termos atribúense a todas as bandas de oitava por igual:

$$\Delta L_{WR,acc,m,k} = C_{R,m,k} \times \text{Max}\left(1 - \frac{|x|}{100}; 0\right) \quad (2.2.17)$$

$$\Delta L_{WP,acc,m,k} = C_{P,m,k} \times \text{Max}\left(1 - \frac{|x|}{100}; 0\right) \quad (2.2.18)$$

Os coeficientes $C_{R,m,k}$ e $C_{P,m,k}$ dependen do tipo de intersección k ($k = 1$ para unha intersección regulada por semáforos; $k = 2$ para unha glorieta) e proporciónanse para cada categoría de vehículos. A corrección comprende o efecto do cambio de velocidade ao aproximarse a unha intersección ou a unha glorieta ou ao afastarse dela.

Teña en conta que a unha distancia $|x| \geq 100$ m, $\Delta L_{WR,acc,m,k} = \Delta L_{WP,acc,m,k} = 0$.

2.2.6. Efecto do tipo de pavimento (superficie de rodada).

Principios xerais.

Se se trata de pavimentos con propiedades sonoras distintas ás do pavimento de referencia, aplicarase un termo de corrección por bandas de frecuencia para o ruído de rodada e o ruído de propulsión.

O termo de corrección do pavimento para a emisión de ruído de rodada calcúlase mediante a expresión:

$$\Delta L_{WR,road,i,m} = \alpha_{i,m} + \beta_m \times \lg \left(\frac{v_m}{v_{ref}} \right) \quad (2.2.19)$$

onde:

$\alpha_{i,m}$ é a corrección en dB á velocidade de referencia v_{ref} para a categoría m (1, 2 ou 3) e para a banda de frecuencia i .

β_m é o efecto da velocidade na redución de ruído de rodada para a categoría m (1, 2 ou 3) e é idéntico para todas as bandas de frecuencias.

O termo de corrección do pavimento para a emisión de ruído de propulsión obtense mediante a expresión:

$$\Delta L_{WP,road,i,m} = \min\{\alpha_{i,m}; 0\} \quad (2.2.20)$$

As superficies absorbentes reducen o ruído de propulsión, mentres que as superficies non absorbentes non o aumentan.

Efecto da antigüidade do pavimento no ruído de rodada.

As características sonoras das superficies de rodada varían coa antigüidade e o nivel de mantemento, cunha tendencia a que o ruído sexa maior co paso do tempo. Neste método, os parámetros da superficie de rodada establecéronse para que sexan representativos do comportamento acústico do tipo de superficie de rodada como media con respecto á súa vida útil representativa e supondo que se realiza un mantemento adecuado.

2.3. Ruído ferroviario.

2.3.1. Descrición da fonte.

Clasificación dos vehículos.

Definición de vehículo e tren.

Para os efectos deste método de cálculo do ruído, un vehículo defínese como calquera subunidade ferroviaria independente dun tren (normalmente unha locomotora, un automotor, coche de viaxeiros ou un vagón de carga) que se poida mover de maneira independente e que se poida desacoplar do resto do tren. Pódense dar algunhas circunstancias específicas para as subunidades dun tren que forman parte dun conxunto que non se pode desacoplar, por exemplo, compartir un *bogie* entre elas. Para os efectos deste método de cálculo, todas estas subunidades se agrupan nun único vehículo.

Así mesmo, para este método de cálculo, un tren consta dunha serie de vehículos acoplados.

No cadro [2.3.a] defínese unha linguaxe común para describir os tipos de vehículos incluídos na base de datos das fontes. Nel preséntanse os descritores correspondentes que se usarán para clasificar todos os vehículos. Estes descritores correspóndense coas propiedades do vehículo, que afectan a potencia sonora direccional por metro de liña fonte equivalente modelizada.

O número de vehículos de cada tipo determinarase en cada tramo de vía para cada período considerado no cálculo do ruído. Exprésarase como un número de media de vehículos por hora, que se obtén ao dividir o número total de vehículos que circulan durante un período de tempo determinado entre a duración en horas do

dito período (por exemplo, 24 vehículos en 4 horas dan como resultado 6 vehículos por hora). Considéranse todos os tipos de vehículos que circulan por cada tramo de vía.

Cadro [2.3.a]

Clasificación e descritores para os vehículos ferroviarios

Díxito	1	2	3	4
Descritor	Tipo de vehículo	Número de eixes por vehículo	Tipo de freo	Elementos redutores de ruído nas rodas
Explicación do descritor	Unha letra que describe o tipo	O número real de eixes	Unha letra que describe o tipo de freo	Unha letra que describe o tipo de medida da redución de ruído
Posibles descritores	h vehículo de alta velocidade (> 200 km/h)	1	c bloque de fundición.	n ningunha medida
	m coches de pasaxeiros autopropulsados	2	k zapatas de metal sinterizado (composite)	d amortecedores
	p coches de pasaxeiros remolcados	3	n freada sen zapatas, como disco, tambor, magnético	s pantallas
	c coche autopropulsado e non autopropulsado de tranvía ou metro lixeiro	4		o outros
	d locomotora diésel	etc.		
	e locomotora eléctrica			
	a calquera vehículo xenérico para o transporte de mercadorías			
	o outros (como vehículos de conservación).			

Clasificación das vías e estrutura portante.

As vías existentes poden variar porque hai varios elementos que contribúen ás propiedades sonoras e as caracterizan. Os tipos de vías utilizados neste método indícanse no cadro [2.3.b] seguinte. Algúns dos elementos inflúen significativamente nas propiedades sonoras, mentres que outros só teñen efectos secundarios. En xeral, os elementos máis importantes que inflúen na emisión de ruído ferroviario son: a rugosidade do carril, a rixidez

da placa de asento do carril, a base da vía, as xuntas dos carrís e o raio de curvatura da vía. De forma alternativa, pódense definir as propiedades xerais da vía e, neste caso, a rugosidade do carril e a taxa de deterioración da vía, segundo a norma ISO 3095, son dous parámetros esenciais desde o punto de vista acústico, ademais do raio de curvatura da vía.

O tramo de vía defínese como unha parte dunha única vía, nunha liña ferroviaria ou nunha estación, na cal non cambian os compoñentes básicos nin as propiedades físicas da vía.

No cadro [2.3.b] defínese unha linguaxe común para describir os tipos de vías incluídos na base de datos das fontes.

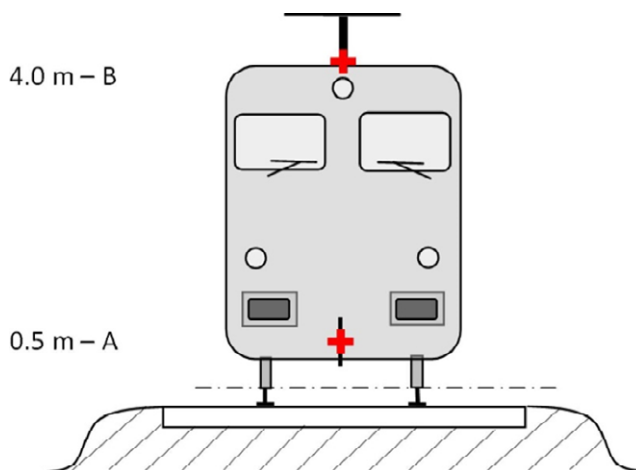
Cadro [2.3.b]

Díxito	1	2	3	4	5	6
Descritor	Base da vía	Rugosidade do carril	Tipo de placa de asento	Medidas adicionais	Xuntas dos carrís	Curvatura
Explicación do descritor	Tipo de base da vía	Indicadores da rugosidade	Representa unha indicación da rixidez acústica	Unha letra que describe o dispositivo acústico	Presenza de xuntas e separacións	Indica o raio de curvatura en m
Códigos permitidos	B Balastro	E Boa conservación e bo funcionamento	S Suave (150-250 MN/m)	N Ningunha	N Ningunha	N Vía recta
	S Vía en placa	M Conservación normal	M Media (250 a 800 MN/m)	D Amortecedor do carril	S Cambio ou xunta únicos	L Baixa (1 000-500 m)
	L Ponte con vía con balastro	N Mala conservación	H Ríxido (800-1 000 MN/m)	B Pantalla de baixa altura	D Dúas xuntas ou cambios por 100 m	M Media (menos de 500 m e máis de 300 m)
	N Ponte sen balastro	B Sen mantemento e en mal estado		A Placa de absorción acústica na vía en placa	M Máis de dúas xuntas ou cambios por 100 m	H Alta (menos de 300 m)
	T Vía embebida			E Carril embebido		
	O Outro			O Outro		

Número e situación de fontes sonoras equivalentes.

Figura [2.3.a]

Situación de fontes sonoras equivalentes



As distintas fontes lineais de ruído equivalentes localízanse a diferentes alturas e no centro da vía. Todas as alturas se refiren ao plano tanxencial ás dúas superficies superiores dos dous carrís.

As fontes equivalentes comprenden diferentes fontes físicas (índice p). Estas fontes físicas divídense en dúas categorías distintas en función do mecanismo de xeración e son: 1) o ruído de rodada (incluída non só a vibración da base do carril e a vía e a vibración das rodas, senón tamén, se procede, o ruído da superestrutura dos vehículos destinados ao transporte de mercadorías); 2) o ruído de tracción; 3) o ruído aerodinámico; 4) o ruído de impacto (en cruzamentos, cambios e xuntas); 5) o ruído xerado polas renxeduras, e 6) o ruído xerado por efectos adicionais como pontes e viadutos.

- 1) O ruído de rodada orixínase debido á rugosidade das rodas e das cabezas de carril a través de tres vías de transmisión ás superficies radiantes (carril, rodas e superestrutura). A fonte sitúase a $h = 0,5$ m (superficies radiantes A) para representar a contribución da vía, incluídos os efectos da superficie das vías, en particular nas vías en placa (segundo a zona de propagación), para representar a contribución da roda e a contribución da superestrutura do vehículo en relación co ruído (no caso dos trens de mercadorías).
 - 2) As alturas das fontes equivalentes para a consideración do ruído de tracción varían entre 0,5 m (fonte A) e 4,0 m (fonte B), en función da posición física do compoñente de que se trate. As fontes como as transmisións e os motores eléctricos normalmente estarán a unha altura do eixe de 0,5 m (fonte A). As reixas de ventilación e as saídas de aire poden estar a varias alturas; o sistema de escape do motor nos vehículos diésel adoita estar a unha altura de 4,0 m (fonte B). Outras fontes de tracción, como os ventiladores ou os bloques motor diésel, poden estar a unha altura de 0,5 m (fonte A) ou de 4,0 m (fonte B). Se a altura exacta da fonte se encontra entre as alturas do modelo, a enerxía sonora distribuirase de maneira proporcional sobre as alturas de fontes adxacentes máis próximas.
- Por este motivo, prevense dúas alturas de fontes mediante o método a 0,5 m (fonte A), 4,0 m (fonte B), e a potencia sonora equivalente asociada distribúese entre as dúas en función da configuración específica das fontes no tipo de unidade.
- 3) Os efectos do ruído aerodinámico asóciase coa fonte a 0,5 m (o que representa as cubertas e as pantallas, fonte A) e a fonte a 4,0 m (modelización por aparellos de teito e pantógrafos, fonte B). A opción de considerar unha fonte a 4,0 m para os efectos do pantógrafo constitúe un modelo moi sinxelo e debe considerarse detidamente se o obxectivo é elixir unha altura apropiada da barreira acústica.
 - 4) O ruído de impacto asóciase coa fonte a 0,5 m (fonte A).
 - 5) O ruído das renxeduras asóciase coas fontes a 0,5 m (fonte A).

6) O ruído de impacto en pontes e viadutos asóciase coa fonte a 0,5 m (fonte A).

2.3.2. Nivel de potencia sonora. Emisión.

Ecuacións xerais.

Vehículo individual.

O modelo de ruído do tráfico ferroviario, de forma análoga ao ruído do tráfico viario, obtén o nivel da potencia sonora dunha combinación específica de tipo de vehículo e tipo de vía que satisfai unha serie de requisitos descritos na clasificación de vehículos e vías, partindo dun conxunto de niveis de potencia sonora para cada vehículo ($L_{W,0}$).

Intensidade de tráfico.

A emisión de ruído orixinado pola circulación de trens en cada vía deberá representarse mediante un conxunto de dúas fontes lineais caracterizadas polo seu nivel de potencia sonora direccional por metro e por banda de frecuencias. Isto correspóndese coa suma das emisións de ruído de cada un dos vehículos que circulan e, no caso específico dos vehículos parados, tense en conta o tempo que os vehículos pasan no tramo ferroviario considerado.

O nivel de potencia sonora direccional por metro e por banda de frecuencias, debido a todos os vehículos que circulan por cada tramo de vía dun determinado tipo de vía (j), defínese da seguinte forma:

- para cada banda de frecuencias (i);
- para cada altura de fonte determinada (h) (para as fontes a 0,5 m $h = 1$ e a 4,0 m $h = 2$).

Y é a suma da enerxía de todas as contribucións de todos os vehículos que circulan polo tramo de vía específico j . Estas contribucións corresponden a:

- de todos os tipos de vehículos (t)
- a diferentes velocidades (s)
- en condicións de circulación particulares (velocidade constante) (c)
- para cada tipo de fonte física (rodada, impacto, renxeduras, tracción, aerodinámica e fontes con outros efectos, como por exemplo o ruído das pontes) (p).

Para calcular o nivel de potencia sonora direccional por metro (dato de entrada na parte de propagación) debido ao tráfico mixto no tramo de vía j , úsase a expresión seguinte:

$$L_{W',eq,T,dir,i} = 10 \cdot \lg \left(\sum_{x=1}^X 10^{L_{w',eq,line,x}/10} \right) \quad (2.3.1)$$

onde

T_{ref} = período de tempo de referencia para o cal se considera a media de tráfico

x = número total de combinacións existentes de i , t , s , c , p para cada tramo da vía j

t = índice para os tipos de vehículo no tramo de vía j

s = índice para a velocidade do tren: hai tantos índices como número de velocidades medias de circulación diferentes no tramo de vía j

c = índice para as condicións de circulación: 1 (para velocidade constante), 2 (ralenti)

p = índice para os tipos de fontes físicas: 1 (para ruído de rodada e de impacto), 2 (renxedura nas curvas), 3 (ruído de tracción), 4 (ruído aerodinámico), 5 (outros efectos)

$L_{W',eq,line,x}$ = nivel de potencia sonora direccional x por metro para unha fonte lineal dunha combinación de t , s , r , p en cada tramo de vía j

Se se supón unha intensidade de circulación constante de vehículos Q por hora, cunha velocidade media v , como media en cada momento, haberá un número equivalente de vehículos Q/v por unidade de lonxitude do tramo da vía ferroviaria. A emisión de ruído debido á circulación de trens en termos de nivel de potencia sonora direccional por metro $L_{W',eq,line}$ (expresada en dB/m (re. 10^{-12} W)) obtense mediante a expresión:

$$L_{W',eq,line,i}(\psi,\varphi) = L_{W,0,dir,i}(\psi,\varphi) + 10 \times \lg\left(\frac{Q}{1\,000v}\right) \quad (\text{para } c = 1) \quad (2.3.2)$$

onde

- Q é o número de vehículos por hora no tramo de vía j para o tipo de vehículo t , cunha velocidade media do tren s e unhas condicións de circulación c
- v é a velocidade no tramo de vía j para o tipo de vehículo t e cunha velocidade media do tren s
- $L_{W,0,dir}$ é o nivel de potencia sonora direccional do ruído específico (rodada, impacto, renxedura, freada, tracción, aerodinámico e outros efectos) dun único vehículo nas direccións ψ , φ definidas con respecto á dirección en que se move o vehículo (véxase a figura [2.3.b]).

No caso dunha fonte estacionaria, como durante o ralentí, suponse que o vehículo permanecerá durante un tempo total T_{idle} nunha localización dentro dun tramo de vía cunha lonxitude L . Polo tanto, sendo T_{ref} o período de tempo de referencia para a avaliación do ruído (por exemplo, 12 horas, 4 horas ou 8 horas), o nivel de potencia sonora direccional por unidade de lonxitude no tramo de vía defínese mediante:

$$L_{W',eq,line,i}(\psi,\varphi) = L_{W,0,dir,i}(\psi,\varphi) + 10 \times \lg\left(\frac{T_{idle}}{T_{ref}L}\right) \quad (\text{para } c = 2) \quad (2.3.4)$$

En xeral, o nivel de potencia sonora direccional obtense de cada fonte específica como:

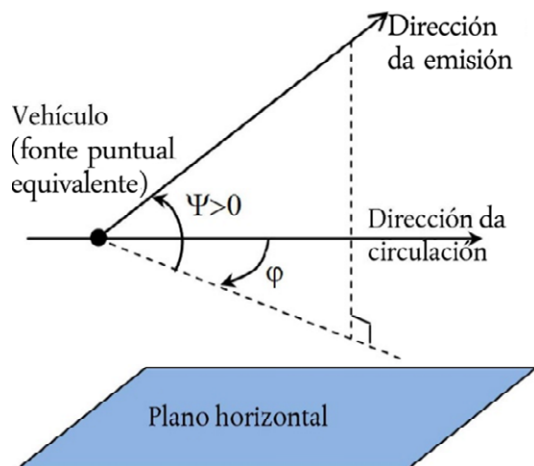
$$L_{W,0,dir,i}(\psi,\varphi) = L_{W,0,i} + \Delta L_{W,dir,vert,i} + \Delta L_{W,dir,hor,i} \quad (2.3.5)$$

onde

- $\Delta L_{W,dir,vert,i}$ é a función da corrección por directividade vertical (adimensional) de ψ (figura [2.3.b])
- $\Delta L_{W,dir,hor,i}$ é a función da corrección por directividade horizontal (adimensional) de φ (figura [2.3.b]).

E onde $L_{W,0,dir,i}(\psi,\varphi)$ despois de acharse en bandas de 1/3 de oitava, se deberá expresar en bandas de oitava sumando enerxicamente as potencias de cada banda de 1/3 de oitava que integran a banda de oitava correspondente.

Figura [2.3.b]
Definición xeométrica



Para os efectos de cálculo, a potencia da fonte exprésase de maneira específica en termos de nivel de potencia sonora direccional por unha lonxitude de 1 m da vía $L_{w,dir,i}$ para ter en conta a directividade das fontes na súa dirección vertical e horizontal, mediante as correccións adicionais.

Considéranse varios $L_{w,dir,i}(\Psi, \phi)$ para cada combinación de vehículo-vía-velocidade-condicións de circulación:

- para cada banda de frecuencias de oitava de 1/3 (i)
- para cada tramo de vía (j)
- para cada altura da fonte (h) (para fontes a 0,5 m $h = 1$, a 4,0 m $h = 2$)
- directividade (d) da fonte

Ruído de rodada.

A contribución do vehículo e a contribución da vía ao ruído de rodada divídense en catro elementos básicos: a rugosidade da roda, a rugosidade do carril, a función de transferencia do vehículo ás rodas e á superestrutura e a función de transferencia da vía. A rugosidade das rodas e dos carrís representan a causa da excitación da vibración do punto de contacto entre o carril e a roda, e as funcións de transferencia son dúas funcións empíricas ou modelizadas que representan todo o fenómeno complexo da vibración mecánica e da xeración de ruído nas superficies das rodas, o carril, a travesa e a subestrutura da vía. Esta separación reflicte a evidencia física de que a rugosidade do carril pode excitar a vibración deste, pero tamén excitará a vibración da roda e viceversa. Non incluír algún destes catro parámetros impediría a disociación da clasificación das vías e trens.

Rugosidade da roda e da vía.

O ruído de rodada orixinado pola rugosidade do carril e da roda corresponde ao rango de lonxitude de onda comprendido entre 5 e 500 mm.

Definición.

O nivel de rugosidade L_r defínese como 10 veces o logaritmo de base 10 do cadrado do valor cuadrático medio r^2 da rugosidade da superficie de rodada dun carril ou dunha roda na dirección do movemento (nivel

lonxitudinal) medida en μm con respecto a unha lonxitude determinada do carril ou ao diámetro total da roda, dividida entre o cadrado do valor de referencia r_0^2 :

$$L_r = 10 \times \lg \left(\frac{r}{r_0} \right)^2 \text{ dB} \quad (2.3.6)$$

onde

$$r_0 = 1 \mu\text{m}$$

r = r.m.s. da diferenza de desprazamento vertical da superficie de contacto con respecto ao nivel medio

O nivel de rugosidade L_r adoita obterse como unha lonxitude de onda λ e deberá converterse nunha frecuencia $f = v/\lambda$, onde f é a frecuencia de banda central dunha banda de oitava determinada en Hz, λ é a lonxitude de onda en m e v é a velocidade do tren en m/s. O espectro de rugosidade como unha función de frecuencia cambia ao longo do eixe de frecuencia para diferentes velocidades. En casos xerais, tras a conversión ao espectro de frecuencias en función da velocidade, é necesario obter novos valores do espectro de bandas de oitava de 1/3 calculando a media entre dúas bandas de 1/3 de oitava correspondentes no dominio da lonxitude de onda. Para calcular o espectro de frecuencias da rugosidade efectiva total correspondente á velocidade apropiada do tren, deberá calcularse a media enerxética e proporcional das dúas bandas de 1/3 de oitava correspondentes definidas no dominio da lonxitude de onda.

O nivel de rugosidade do carril para a banda de lonxitude de onda i defínese como $L_{r,TR,i}$

Por analogía, **o nivel de rugosidade da roda** para a banda de lonxitude de onda i defínese como $L_{r,VEH,i}$

O nivel de rugosidade efectiva total para a banda de lonxitude de onda i ($L_{R,tot,i}$) defínese como a suma enerxética dos niveis de rugosidade do carril e da roda máis o filtro de contacto $A_3(\lambda)$ para ter en conta o efecto de filtrado da banda de contacto entre o carril e a roda, e mídese en dB:

$$L_{R,TOT,i} = 10 \cdot \lg(10^{L_{r,TR,i}/10} + 10^{L_{r,VEH,i}/10}) + A_{3,i} \quad (2.3.7)$$

onde se expresa como unha función da banda do número de onda i correspondente á lonxitude de onda λ .

O filtro de contacto depende do tipo de carril e de roda e da carga.

No método utilizarase a rugosidade efectiva total do tramo de vía j para cada tipo de vehículo t á súa velocidade v correspondente.

Función de transferencia de vehículo, vía e superestrutura.

As funcións de transferencia independentes da velocidade $L_{H,TR,i}$, $L_{H,VEH,i}$ e $L_{H,VEH,SUP,i}$ defínense para cada tramo de vía j e para cada tipo de vehículo t . Relacionan o nivel de rugosidade efectiva total coa potencia sonora da vía, as rodas e a superestrutura, respectivamente.

A contribución da superestrutura considérase só para os vagóns de mercadorías. Polo tanto, só para o tipo de vehículos «o».

No caso do ruído de rodada, as contribucións da vía e do vehículo describíense totalmente mediante as funcións de transferencia e mediante o nivel de rugosidade efectiva total. Cando un tren está en ralentí, o ruído de rodada quedará excluído.

Para a obtención do nivel de potencia sonora por vehículo, o ruído de rodada calcúlase á altura do eixe e , como dato de entrada, ten o nivel de rugosidade efectiva total $L_{R,TOT,i}$, que é unha función da velocidade do vehículo v , as funcións de transferencia da vía, o vehículo e a superestrutura $L_{H,TR,i}$, $L_{H,VEH,i}$ e $L_{H,VEH,SUP,i}$, e o número total de eixes N_a :

para $h = 1$:

$$L_{W,0,TR,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,TR,i} + 10 \times \lg(N_a) \quad \text{dB} \quad (2.3.8)$$

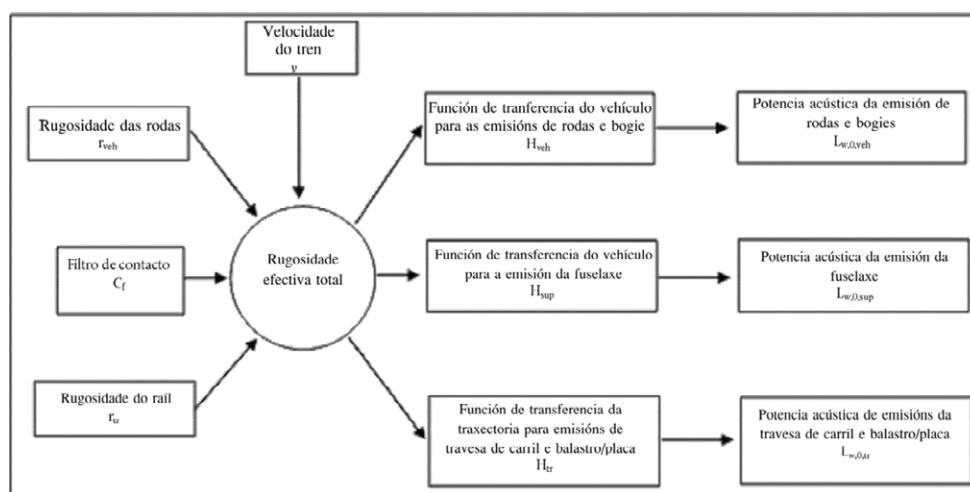
$$L_{W,0,VEH,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEH,i} + 10 \times \lg(N_a) \quad \text{dB} \quad (2.3.9)$$

$$L_{W,0,VEHSUP,i} = L_{R,TOT,i} + L_{H,VEHSUP,i} + 10 \times \lg(N_a) \quad \text{dB} \quad (2.3.10)$$

onde N_a é o número de eixes por vehículo para o tipo de vehículo t .

Figura [2.3.c]

Esquema de uso das diferentes definicións de rugosidade e función de transferencia



Utilizarase unha velocidade mínima de 50 km/h (30 km/h para os tranvías e o metro) para determinar a rugosidade efectiva total e, por conseguinte, o nivel de potencia sonora dos vehículos (esta velocidade non afecta o cálculo das circulacións de vehículos) para compensar o erro potencial introducido pola simplificación da definición do ruído de rodada, o ruído dos freos e o ruído de impacto xerado nas interseccións e os cambios.

Ruído de impacto (cruzamentos, cambios e xuntas).

O ruído de impacto pódese producir nos cruzamentos, nos cambios e xuntas ou nas agullas. Pode variar en magnitude e pode ser dominante en relación co ruído de rodada. O ruído de impacto deberá considerarse para as vías con xuntas. Non se considerará o ruído de impacto xerado por cambios, cruzamentos e xuntas nos tramos de vía cunha velocidade inferior a 50 km/h (30 km/h para tranvías e metros), xa que a velocidade mínima de 50 km/h (30 km/h só para tranvías e metros) se usa para incluír máis efectos de acordo coa descrición recollida no capítulo do ruído de rodada. A modelización do ruído de impacto tampouco se debe considerar en condicións de circulación $c = 2$ (ralentí).

O ruído de impacto inclúese no termo do ruído de rodada ao engadir (enerxeticamente) un nivel de rugosidade do impacto ficticio suplementario ao nivel de rugosidade efectiva total en cada tramo de vía j cando sexa pertinente. Neste caso, usarase unha nova función $L_{R,TOT+IMPACT,i}$ en lugar de $L_{R,TOT,i}$, polo que quedará como segue:

$$L_{R,TOT+IMPACT,i} = 10 \times \lg(10^{L_{R,TOT,i}/10} + 10^{L_{R,IMPACT,i}/10}) \quad \text{dB} \quad (2.3.11)$$

$L_{R,IMPACT,i}$ é unha función da frecuencia considerada en bandas de 1/3 oitava. Para obter este espectro de frecuencias, o método inclúe un espectro en función da lonxitude de onda λ e deberá converterse en frecuencias usando a relación $\lambda = v/f$, onde f é a frecuencia central da banda de 1/3 de oitava en Hz e v é a velocidade s do vehículo tipo t en m/s.

O ruído de impacto dependerá da gravidade e do número de impactos por unidade de lonxitude polo que, no caso de que se dean varios impactos, o nivel de rugosidade do impacto que se deberá utilizar na ecuación anterior se calculará como segue:

$$\text{onde } L_{R,IMPACT,i} = L_{R,IMPACT-SINGLE,i} + 10 \times \lg\left(\frac{n_i}{0,01}\right) \quad \text{dB} \quad (2.3.12)$$

$L_{R,IMPACT-SINGLE,i}$ é o nivel de rugosidade do impacto que se proporciona para un único impacto e n_i é o número de unións por unidade de lonxitude.

O nivel de rugosidade do impacto de referencia facilítase para un número de unións por unidade de lonxitude de $n_i = 0,01 \text{ m}^{-1}$, que é unha unión por cada 100 m de vía. As situacións cun número diferente s de unións consideraranse mediante o factor de corrección n_i . Cabe sinalar que, ao modelizar a segmentación da vía, se deberá ter en conta o número de unións do carril, é dicir, que pode resultar necesario considerar segmentos de liña fonte separados para un tramo de vía con máis unións. A $L_{W,0}$ da vía, a roda e o *bogie* e a contribución da superestrutura incrementanse en $L_{R,IMPACT,i}$ para 50 m antes e despois da unión do carril. Se se trata dunha serie de unións, o incremento esténdese a un intervalo comprendido entre - 50 m antes da primeira unión e +50 m despois da última unión.

A aplicabilidade destes espectros de potencia sonora, por norma xeral, verificarase *in situ*.

Como valor por defecto utilízase $n_i = 0,01$.

Rexeduras.

A rexedura nas curvas é unha fonte especial que só resulta relevante para as curvas e, por tanto, está localizada. Como pode ser significativa, necesítase unha descrición apropiada desta. A rexedura nas curvas adoita depender da curvatura, das condicións de fricción, da velocidade do tren e da dinámica e a xeometría das rodas e da vía. O nivel de emisións que se debe usar determínase para as curvas cun raio inferior ou igual a 500 m e para curvas máis pechadas e desvíos cun raio inferior a 300 m. A emisión de ruído debe ser específica de cada tipo de material de rodada, xa que determinados tipos de rodas e *bogies* poden ser moito menos propensos ás rexeduras que outros.

A aplicabilidade destes espectros de potencia sonora, por norma xeral, verificarase *in situ*, en particular no caso dos tranvías.

Adoptando un enfoque sinxelo, considerarase o ruído das rexeduras engadindo 8 dB para $R < 300$ m e 5 dB para $300 \text{ m} < R < 500$ m ao espectro de potencia sonora do ruído de rodada para todas as frecuencias. A contribución da rexedura aplicarase aos tramos de vías ferroviarias nos cales o raio se encontre dentro dos rangos mencionados anteriormente polo menos durante 50 m de lonxitude da vía.

Ruído de tracción

Aínda que o ruído de tracción adoita ser específico de cada condición de funcionamento característica de velocidade constante, desaceleración, aceleración e ralentí, as dúas únicas condicións modelizadas son a velocidade constante (que é válida tamén cando o tren está desacelerando ou cando está a acelerar) e o ralentí. A potencia da fonte considerada só se corresponde coas condicións de carga máxima, e isto implica que $L_{W,0,const,i} = L_{W,0,idling,i}$. Ademais, $L_{W,0,idling,i}$ correspóndese coa contribución de todas as fontes físicas dun vehículo determinado atribuíble a unha altura específica, como se describe na sección 2.3.1.

$L_{W,0,idling,i}$ exprésase como unha fonte sonora estática na posición de ralentí, para a duración do estado de ralentí, que se modeliza como unha fonte puntual fixa, segundo se describe no seguinte capítulo dedicado ao ruído industrial. Só se considerará se os trens están en ralentí durante máis de 0,5 horas.

Estes valores pódense obter ben mediante medicións de todas as fontes en cada estado de funcionamento ou ben as fontes parciais se poden caracterizar por separado, para determinar a dependencia que teñen dos parámetros e a súa forza relativa. Isto pódese calcular mediante a medición dun vehículo estacionario, variando as velocidades de rotación do equipamento de tracción, de conformidade coa norma ISO 3095:2005. Se resulta pertinente, teranse que caracterizar varias fontes sonoras de tracción, e é posible que non todas dependan da velocidade do tren:

- O ruído do motor, como os motores diésel (incluídas as entradas de aire, o sistema de escape e o bloque motor), a transmisión, os xeradores eléctricos, que dependen en gran medida das revolucións por minuto (rpm), e as fontes eléctricas, como os convertedores, que poden depender significativamente da carga.
- O ruído dos ventiladores e dos sistemas de refrixeración, en función das rpm do ventilador; nalgúns casos, os ventiladores poden estar directamente axustados á transmisión.
- Fontes intermitentes como os compresores, as válvulas e outras cunha duración característica de funcionamento e a corrección correspondente do ciclo de funcionamento para a emisión de ruído.

Tendo en conta que estas fontes se poden comportar de maneira diferente en cada estado de funcionamento, o ruído da tracción especificarase segundo corresponda. A intensidade dunha fonte obtense de medicións realizadas en condicións controladas. En xeral, as locomotoras tenderán a mostrar máis variación na carga en función do número de vehículos remolcados e, por conseguinte, a potencia resultante pode variar significativamente, mentres que as composicións de trens, como as unidades motorizadas eléctricas, as unidades motorizadas diésel e os trens de alta velocidade, teñen unha carga mellor definida.

Non hai unha atribución a priori da potencia sonora da fonte a determinadas alturas da fonte, e esta elección dependerá do ruído específico e do vehículo avaliados. Modelizarase como unha fonte A ($h = 1$) e unha fonte B ($h = 2$).

Ruído aerodinámico.

O ruído aerodinámico só se ten en conta a altas velocidades por riba de 200 km/h, polo que se debe verificar se é realmente necesario para efectos de aplicación. Se se coñecen as funcións de transferencia e rugosidade do ruído de rodada, pódense extrapolar a velocidades máis altas e pódese realizar unha comparación cos datos existentes para a alta velocidade para comprobar se o ruído aerodinámico xera niveis máis altos. Se as velocidades do tren nunha rede ferroviaria son superiores a 200 km/h, pero están limitadas a 250 km/h, nalgúns casos pode non ser necesario incluír o ruído aerodinámico, dependendo do deseño do vehículo.

A contribución do ruído aerodinámico facilítase como unha función de velocidade:

$$L_{W,0,i} = L_{W,0,1,i}(v_0) + \alpha_{1,i} \times \lg\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad \text{dB} \quad \text{Para } h = 1 \quad (2.3.13)$$

$$L_{W,0,i} = L_{W,0,2,i}(v_0) + \alpha_{2,i} \times \lg\left(\frac{v}{v_0}\right) \quad \text{dB} \quad \text{Para } h = 2 \quad (2.3.14)$$

onde

v_0 é unha velocidade na cal o ruído aerodinámico é dominante e se calcula a 300 km/h

$L_{W,0,1,i}$ é un nivel de potencia sonora de referencia determinada por dous ou máis puntos de medida, para fontes a alturas de fontes coñecidas, por exemplo o primeiro *bogie*

$L_{W,0,2,i}$ é un nivel de potencia sonora de referencia determinada por dous ou máis puntos de medida, para fontes a alturas de fontes coñecidas, por exemplo as alturas de contacto do pantógrafo

$\alpha_{1,i}$ é un coeficiente determinado por dous ou máis puntos de medida, para fontes a alturas de fontes coñecidas, por exemplo o primeiro *bogie*

$\alpha_{2,i}$ é un coeficiente determinado por dous ou máis puntos de medida, para fontes a alturas de fontes coñecidas, por exemplo as alturas de contacto do pantógrafo.

Directividade da fonte.

A directividade horizontal $\Delta L_{W,dir,hor,i}$ en dB por defecto no plano horizontal e, por defecto, pódese asumir que se trata dun dipolo para os efectos de rodada, impacto (xuntas de carril, etc.), renxeduras, freos, ventiladores e aerodinámico, que se calcula para cada banda de frecuencias i mediante:

$$\Delta L_{W,dir,hor,i} = 10 \times \lg(0,01 + 0,99 \cdot \sin^2 \varphi) \quad (2.3.15)$$

A directividade vertical $\Delta L_{W,dir,ver,i}$ en dB calcúlase no plano vertical para a fonte A ($h = 1$) como unha función da frecuencia central $f_{c,i}$ de cada banda de frecuencias i e para $-\pi/2 < \psi < \pi/2$:

$$\Delta L_{W,dir,ver,i} = \left(\left| \frac{40}{3} \times \left[\frac{2}{3} \times \sin(2 \cdot \psi) - \sin \psi \right] \times \lg \left[\frac{f_{c,i} + 600}{200} \right] \right| \right) \quad (2.3.16)$$

Para a fonte B ($h = 2$) para o efecto aerodinámico:

$$\Delta L_{W,dir,ver,i} = 10 \times \lg(\cos^2 \psi) \quad \text{para } \psi < 0 \quad (2.3.17)$$

$\Delta L_{W,dir,ver,i} = 0$ en todos os demais casos.

A directividade $\Delta L_{dir,ver,i}$ non se ten en conta para a fonte B ($h = 2$) para os demais, xa que se supón a omnidireccionalidade para as fontes situadas nesta posición.

2.3.3. Outros efectos.

Corrección pola radiación estrutural (pontes e viadutos).

No caso de que o tramo de vía se encontre nunha ponte, é necesario ter en conta o ruído adicional xerado pola vibración da ponte como resultado da excitación ocasionada pola presenza do tren. Tendo en conta que non é fácil modelizar a emisión de ruído da ponte como unha fonte adicional, por mor das formas tan complexas das pontes, considérase un aumento do ruído de rodada para representar o ruído da ponte. O aumento modelizarase exclusivamente incorporando un aumento fixo da potencia sonora para cada banda de terzo de oitava. Para ter en conta esta corrección, modifícase enerxeticamente o nivel de potencia sonora do ruído de rodada e usarase o novo $L_{W,0,rolling-and-bridge,i}$ en lugar de $L_{W,0,rolling-only,i}$:

$$L_{W,0,rolling-and-bridge,i} = L_{W,0,rolling-only,i} + C_{bridge} \quad \text{dB} \quad (2.3.18)$$

onde C_{bridge} é unha constante que depende do tipo de ponte e $L_{W,0,rolling-only,i}$ é o nivel de potencia sonora de rodada na ponte de que se trate, que depende só das propiedades do vehículo e da vía.

Corrección para outras fontes sonoras ferroviarias.

Poden existir outras fontes, como os depósitos, as zonas de carga e descarga, as estacións, as campás, a megafonía da estación, etc., e que se asocian co ruído ferroviario. Estas fontes trataranse como fontes sonoras industriais (fontes sonoras fixas) e modelizaranse, se procede, segundo o exposto no seguinte capítulo dedicado ao ruído industrial.

2.4. Ruído industrial

2.4.1. Descrición da fonte.

Clasificación dos tipos de fonte (punto, liña e área).

As fontes industriais presentan dimensións moi variables. Pódese tratar de plantas industriais grandes, así como de fontes concentradas pequenas, como ferramentas pequenas ou máquinas operativas utilizadas en fábricas. Polo tanto, é necesario usar unha técnica de modelización apropiada para a fonte específica obxecto de avaliación. En función das dimensións e da forma en que varias fontes independentes se estenden por unha zona, todas elas pertencentes á mesma localización industrial, pódense modelizar como fontes puntuais, fontes lineais

ou outras fontes do tipo área. Na práctica, os cálculos do efecto acústico sempre se basean nas fontes sonoras puntuais, pero pódense usar varias fontes sonoras puntuais para representar unha fonte complexa real, que se estende principalmente por unha liña ou por unha área.

Número e situación de fontes sonoras equivalentes.

As fontes sonoras reais modelízanse mediante fontes sonoras equivalentes representadas por unha ou varias fontes puntuais, de forma que a potencia sonora total da fonte real se corresponda coa suma das potencias sonoras individuais atribuídas ás diferentes fontes puntuais.

As normas xerais que se deben aplicar na definición do número de fontes puntuais que se usarán son:

- As fontes lineais ou de tipo área nas cales a dimensión maior é inferior a 1/2 da distancia entre a fonte e o receptor pódense modelizar como fontes puntuais exclusivas.
- As fontes nas cales a dimensión máis grande é maior que 1/2 da distancia entre a fonte e o receptor débense modelizar como unha serie de fontes puntuais nunha liña ou como unha serie de fontes puntuais incoherentes nunha área, de forma que para cada unha destas fontes se cumpra a condición de distancia estable. A distribución por unha área pode incluír a distribución vertical das fontes puntuais.
- Se se trata de fontes nas cales as dimensións máis grandes en termos de altura superen os 2 m ou se están preto do chan, cabe prestar especial atención á altura da fonte. Duplicar o número de fontes, redistribuíndoas unicamente na compoñente z, non pode ofrecer un resultado significativamente mellor para esta fonte.
- Para todas as fontes, duplicar o número de fontes sobre a área da fonte (en todas as dimensións) non pode ofrecer un resultado significativamente mellor.

Non se pode fixar de antemán a posición das fontes sonoras equivalentes, debido ao gran número de configuracións que unha localización industrial pode ter. Polo xeral, aplicaranse boas prácticas.

Nivel de potencia sonora. Emisión.

Consideracións xerais.

A información seguinte constitúe o conxunto completo de datos de entrada necesarios para os cálculos da propagación sonora cos métodos que se utilizarán para a cartografía de ruído:

- Espectro do nivel de potencia sonora emitida en bandas de oitava
- Horas de funcionamento (día, tarde, noite ou como media anual)
- Localización (coordenadas x, y) e elevación (z) da fonte de ruído
- Tipo de fonte (punto, liña e área)
- Dimensións e orientación
- Condicións de funcionamento da fonte
- Directividade da fonte

Cómpre definir o nivel de potencia sonora da fonte puntual, lineal ou de área como:

- Para unha fonte puntual, o nivel de potencia sonora L_W e a directividade como unha función de tres coordenadas ortogonais (x, y, z).
- Pódense definir dous tipos de fontes lineais:
 - Para fontes lineais que representan cintas transportadoras, oleodutos, etc., o nivel de potencia sonora por lonxitude en metros $L_{W'}$ e directividade como unha función de dúas coordenadas ortogonais no eixe da liña da fonte.

- Para fontes lineais que representan os vehículos en movemento, cada un deles asociado ao nivel de potencia sonora L_w e directividade como unha función das dúas coordenadas ortogonais no eixe da fonte lineal e nivel de potencia sonora por metro $L_{w'}$, considerando a velocidade e o número de vehículos que circulan por esta liña durante o día, a tarde e a noite. A corrección para as horas de funcionamento, que se engadirá ao nivel de potencia sonora da fonte para definir o nivel de potencia sonora corrixido que se usará para os cálculos en cada período de tempo C_w en dB, calcúlase como segue:

$$C_w = -10 \lg \left(\frac{l \times n}{1\,000 \times V \times T_0} \right) \quad (2.4.1)$$

onde:

V é a velocidade do vehículo [km/h];

N é o número de circulacións de vehículos por cada período [-];

l é a lonxitude total da fonte [m];

- Para unha fonte do tipo área, o nivel de potencia sonora por metro cadrado L_{w/m^2} , e sen directividade (pode ser horizontal ou vertical).

As horas de funcionamento son unha información fundamental para o cálculo dos niveis de ruído. As horas de funcionamento débense facilitar para o día, a tarde e a noite e, se a propagación usa diferentes clases meteorolóxicas definidas durante o día, a noite e a tarde, daquela deberase facilitar unha distribución máis definida das horas de funcionamento en subperíodos que coincidan coa distribución das clases meteorolóxicas. Esta información basearase nunha media anual.

A corrección das horas de funcionamento, que se engadirá ao nivel de potencia sonora da fonte para definir o nivel de potencia sonora corrixida que se deberá utilizar para os cálculos en relación con cada período de tempo C_w en dB, calcúlase como segue:

$$C_w = 10 \times \lg \left(\frac{T}{T_{ref}} \right) \quad (2.4.2)$$

onde

T é o tempo que a fonte está activa por cada período con carácter anual, medido en horas;

T_{ref} é o período de tempo de referencia en horas (por exemplo: para o día é 12 horas, para a tarde, 4 horas e, para a noite, 8 horas).

Para as fontes máis dominantes, a corrección das horas de funcionamento de media anual calcularase polo menos nunha tolerancia de 0,5 dB co fin de conseguir unha precisión aceptable (é equivalente a unha incerteza inferior ao 10 % na definición do período durante o cal a fonte permanece activa).

Directividade da fonte.

A directividade da fonte está estreitamente relacionada coa posición da fonte sonora equivalente próxima ás superficies que están preto. Tendo en conta que o método de propagación considera a superficie próxima e a absorción sonora, é necesario ter en conta detidamente a localización das superficies próximas. En xeral, establecerase unha distinción entre estes dous casos:

- Considérase un nivel de potencia sonora e unha directividade obtidos a partir dunha situación real dunha determinada fonte cando esta se encontra ao aire libre (excluído o efecto do terreo). Isto está en consonancia coas definicións establecidas para a propagación, sempre que se supoña que non hai ningunha superficie próxima a menos de 0,01 m da fonte e se se inclúen as superficies a 0,01 m ou máis no cálculo da propagación;

- Considérase un nivel de potencia sonora e unha directividade obtidos a partir dunha situación real dunha determinada fonte cando esta se sitúa nunha localización específica. Polo tanto, o nivel de potencia sonora da fonte e a directividade son «equivalentes aos da fonte real», xa que inclúe a modelización do efecto das superficies próximas. Defínese no «campo semilibre» en función das definicións establecidas para a propagación. Neste caso, as superficies próximas modelizadas deberanse excluír do cálculo da propagación.

A directividade exprésase no cálculo como un factor $\Delta L_{W,dir,xyz}(x, y, z)$ que se engadirá ao nivel de potencia sonora para obter o nivel de potencia sonora direccional correcto da fonte sonora de referencia observada desde a dirección correspondente. O factor pódese calcular como unha función do vector de dirección definido mediante (x, y, z) con

$$\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = 1$$

Esta directividade tamén se pode expresar mediante outros sistemas de coordenadas, como os sistemas de coordenadas angulares.

2.5. Cálculo da propagación do ruído para fontes viarias, ferroviarias e industriais

2.5.1. Alcance e aplicabilidade do método.

No presente documento especificase un método para calcular a atenuación do ruído durante a súa propagación en exteriores. Coñecendo as características da fonte, este método predí o nivel de presión sonora continuo equivalente nun punto receptor correspondente a dous tipos particulares de condicións atmosféricas:

- condicións de propagación por refracción descendente (gradiente vertical positivo da velocidade sonora efectiva) desde a fonte ao receptor;
- condicións atmosféricas homoxéneas (gradiente vertical nulo de velocidade sonora efectiva) con respecto á área completa de propagación.

O método de cálculo descrito neste documento aplícase ás infraestruturas industriais e ás infraestruturas de transporte terrestre. Polo tanto, aplícase en particular ás infraestruturas viarias e ferroviarias. O transporte aéreo inclúese no ámbito de aplicación do método de propagación só no caso do ruído xerado durante as operacións en terra e exclúe a engalaxe e a aterraxe.

As infraestruturas industriais que emiten ruídos tonais fortes ou impulsivos, segundo se describe na norma ISO 1996-2:2007, non recaen dentro do ámbito de aplicación deste método.

O método de cálculo non facilita resultados para condicións de propagación por refracción ascendente (gradiente vertical negativa de velocidade sonora efectiva), polo que para estas condicións se utilizan as condicións homoxéneas ao calcular L_{den} .

Para calcular a atenuación debida á absorción atmosférica no caso de infraestruturas de transportes, condicións de temperatura e humidade aplícase a norma ISO 9613-1:1996.

O método ofrece resultados por banda de oitava desde 63 Hz ata 8 000 Hz. Os cálculos realízanse para cada unha das frecuencias centrais.

As cubertas parciais e os obstáculos inclinados con máis de 15° de inclinación en relación coa vertical están fóra do ámbito de aplicación deste método de cálculo.

Unha pantalla individual calcúlase como único cálculo de difracción individual; dúas ou máis pantallas no mesmo camiño de propagación trátanse como un conxunto posterior de difraccións individuais mediante a aplicación do procedemento descrito máis adiante.

2.5.2. Definicións utilizadas.

Todas as distancias, alturas, dimensións e alturas utilizadas neste documento se expresan en metros (m).

A notación MN representa a distancia en 3 dimensións (3D) entre os puntos M e N, medida cunha liña recta que une estes puntos.

A notación $\hat{M}N$ representa a lonxitude da traxectoria curva entre os puntos M e N en condicións favorables.

É habitual medir as alturas reais en vertical nunha dirección perpendicular ao plano horizontal. As alturas dos puntos por riba do terreo local represéntanse con h, mentres que as alturas absolutas dos puntos e a altura absoluta do terreo se deben representar coa letra H.

Para ter en conta a orografía real do terreo ao longo da traxectoria de propagación, introdúcese a noción de «altura equivalente», que se representa coa letra z. Isto substitúe as alturas reais nas ecuacións do efecto de chan.

Os niveis de presión sonora, representados pola letra maiúscula L, exprésanse en decibeles (dB) por banda de frecuencias cando se omite o índice A. Aos niveis de presión sonora en decibeles dB(A) asígnaselles o índice A.

A suma dos niveis de presión sonora de fontes mutuamente incoherentes represéntase mediante o signo \oplus en virtude da seguinte definición:

$$L_1 \oplus L_2 = 10 \cdot \lg \left[10^{L_1/10} + 10^{L_2/10} \right] \quad (2.5.1)$$

2.5.3. Consideracións xeométricas.

Segmentación da fonte.

As fontes reais descríbense mediante un conxunto de fontes puntuais ou, no caso do tráfico ferroviario ou do tráfico viario, mediante fontes lineais incoherentes. O método de propagación supón que as fontes lineais ou as fontes do tipo área se dividiron previamente para representarse mediante unha serie de fontes puntuais equivalentes. Poden obterse mediante un procesamento previo dos datos da fonte ou ben poden xerarse informaticamente mediante un buscador de traxectorias de propagación dun software de cálculo. Os métodos de obtención están fóra do ámbito de aplicación da metodoloxía actual.

Traxectorias de propagación

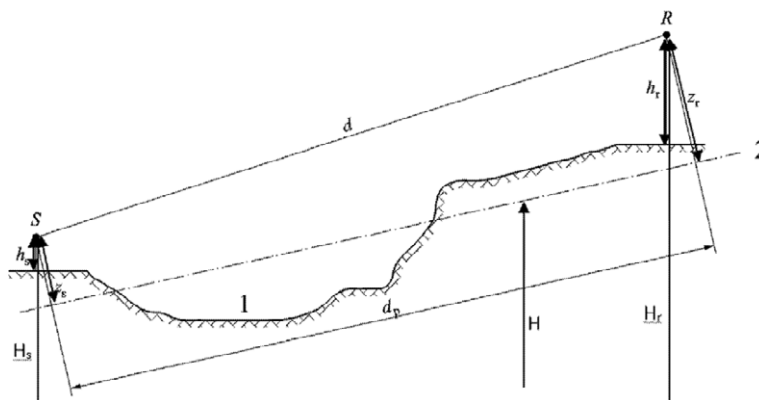
O método funciona nun modelo xeométrico composto por un conxunto de superficies de obstáculos e de chan conectadas. Unha traxectoria de propagación vertical desprégase sobre un ou varios planos verticais con respecto ao plano horizontal. Para traxectorias que inclúen reflexións sobre as superficies verticais non ortogonais no plano incidente, considérase posteriormente outro plano vertical que inclúe o tramo reflectido da traxectoria de propagación. Nestes casos, cando se usan máis planos verticais para describir a traxectoria completa desde a fonte ata o receptor, nivélanse os planos verticais como unha pantalla chinesa despregable.

Alturas significativas por riba do chan.

As alturas equivalentes obtéñense no plano medio do chan entre a fonte e o receptor. Substitúese o plano real por un plano ficticio que representa o perfil medio do terreo.

Figura 2.5.a

Alturas equivalentes en relación co chan



- 1: orografía real
2: plano medio

A altura equivalente dun punto é a súa altura ortogonal en relación co plano medio do chan. Polo tanto, poden definirse a altura da fonte equivalente z_s e a altura do receptor equivalente z_r . A distancia entre a fonte e o receptor en proxección sobre o plano medio do chan represéntase con d_p .

Se a altura equivalente dun punto resulta negativa, é dicir, se o punto está situado por baixo do plano medio do chan, mantense unha altura nula, e o punto equivalente é idéntico á súa posible imaxe.

Cálculo do plano medio.

No plano da traxectoria de propagación, a topografía (incluídos o terreo, os montículos, os terrapléns e outros obstáculos artificiais, os edificios, etc.) pódese describir mediante un conxunto ordenado de puntos discretos (x_k, H_k) ; $k \in \{1, \dots, n\}$. Este conxunto de puntos define unha poliliña ou, de maneira equivalente, unha secuencia de segmentos rectos $H_k = a_k x + b_k$, $x \in [x_k, x_{k+1}]$; $k \in \{1, \dots, n\}$, onde:

$$\begin{cases} a_k = (H_{k+1} - H_k)/(x_{k+1} - x_k) \\ b_k = (H_k \cdot x_{k+1} - H_{k+1} \cdot x_k)/(x_{k+1} - x_k) \end{cases} \quad (2.5.2)$$

O plano medio represéntase mediante a liña recta $Z = ax + b$; $x \in [x_1, x_n]$, que se axusta á poliliña mediante unha aproximación mínima cuadrática. A ecuación da liña media pódese calcular de forma analítica.

Para iso, utilízase :

$$\begin{cases} A = \frac{2}{3} \sum_{k=1}^{n-1} a_k (x_{k+1}^3 - x_k^3) + \sum_{k=1}^{n-1} b_k (x_{k+1}^2 - x_k^2) \\ B = \sum_{k=1}^{n-1} a_k (x_{k+1}^2 - x_k^2) + 2 \sum_{k=1}^{n-1} b_k (x_{k+1} - x_k) \end{cases} \quad (2.5.3)$$

Os coeficientes da liña recta obtéñense mediante:

$$\begin{cases} a = \frac{3(2A - B(x_n + x_1))}{(x_n - x_1)^3} \\ b = \frac{2(x_n^3 - x_1^3)}{(x_n - x_1)^4} B - \frac{3(x_n + x_1)}{(x_n - x_1)^3} A \end{cases} \quad (2.5.4)$$

onde os segmentos con $x_{k+1} = x_k$ se deben ignorar ao avaliar a ecuación 2.5.3.

Reflexións por fachadas de edificios e outros obstáculos verticais.

As contribucións das reflexións téñense en conta mediante a introdución de fontes de imaxes tal e como se describe máis adiante.

2.5.4. Modelo de propagación sonora.

Para un receptor R, os cálculos realízanse seguindo estes pasos:

- 1) para cada traxectoria de propagación:
 - cálculo da atenuación en condicións favorables;
 - cálculo da atenuación en condicións homoxéneas;
 - cálculo do nivel de presión sonora a longo prazo para cada traxectoria de propagación;
- 2) acumulación dos niveis de presión sonora a longo prazo para todas as traxectorias de propagación que afectan un receptor determinado, de maneira que se permita o cálculo do nivel de ruído total no punto receptor.

Cabe destacar que só as atenuacións debidas ao efecto chan (A_{ground}) e á difracción (A_{dif}) se ven afectadas polas condicións meteorolóxicas.

2.5.5. Proceso de cálculo.

Para unha fonte puntual S de nivel de potencia sonora direccional $L_{W,0,\text{dir}}$ e para unha banda de frecuencias determinada, o nivel de presión sonora continua equivalente no punto receptor R en condicións atmosféricas concretas obtense coas seguintes ecuacións.

Nivel de presión sonora continua equivalente en condicións favorables (L_F) para unha traxectoria de propagación (S,R).

$$L_F = L_{W,0,\text{dir}} - A_F \quad (2.5.5)$$

O termo A_F representa a atenuación total ao longo da traxectoria de propagación en condicións favorables e desagregase como segue:

$$A_F = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{boundary},F} \quad (2.5.6)$$

onde

A_{div} é a atenuación por diverxencia xeométrica;

A_{atm} é a atenuación por absorción atmosférica;

$A_{\text{boundary},F}$ é a atenuación polo límite do medio de propagación en condicións favorables. Pode conter os seguintes termos:

$A_{\text{ground},F}$, que é a atenuación polo terreo en condicións favorables;

$A_{\text{dif},F}$, que é a atenuación pola difracción en condicións favorables.

Para unha traxectoria de propagación e unha banda de frecuencias determinadas, pódense dar os dous escenarios seguintes:

— $A_{\text{ground},F}$ calcúlase sen difracción ($A_{\text{dif},F} = 0$ dB) e $A_{\text{boundary},F} = A_{\text{ground},F}$;

— ou ben se calcula $A_{\text{dif},F}$. O efecto chan tense en conta na propia ecuación $A_{\text{dif},F}$ ($A_{\text{ground},F} = 0$ dB). De aí obtense: $A_{\text{boundary},F} = A_{\text{dif},F}$.

Nivel de presión sonora continuo equivalente en condicións homoxéneas (L_H) para unha traxectoria de propagación (S,R).

O procedemento é exactamente igual ao caso das condicións favorables descrito na sección anterior.

$$L_H = L_{W,0,\text{dir}} - A_H \quad (2.5.7)$$

O termo A_H representa a atenuación total ao longo da traxectoria de propagación en condicións homoxéneas e desagregase como segue:

$$A_H = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{boundary},H} \quad (2.5.8)$$

onde:

A_{div} é a atenuación por diverxencia xeométrica;

A_{atm} é a atenuación por absorción atmosférica;

$A_{\text{boundary},F}$ é a atenuación polo límite do medio de propagación en condicións homoxéneas. Pode conter os seguintes termos:

$A_{\text{ground},H}$ que é a atenuación polo terreo en condicións homoxéneas;

$A_{\text{dif},H}$ que é a atenuación pola difracción en condicións homoxéneas.

Para unha traxectoria de propagación e unha banda de frecuencias determinadas, pódense dar os dous escenarios seguintes:

— $A_{\text{ground},H}$ ($A_{\text{dif},H} = 0$ dB) calcúlase sen difracción e $A_{\text{boundary},H} = A_{\text{ground},H}$;

— ou calcúlase $A_{\text{dif},H}$ ($A_{\text{ground},H} = 0$ dB). O efecto chan tense en conta na propia ecuación $A_{\text{dif},H}$. De aí obtense $A_{\text{boundary},H} = A_{\text{dif},H}$.

Enfoque estatístico en zonas urbanas para un traxecto (S,R).

Dentro das zonas urbanas, tamén se pode adoptar un enfoque estatístico no cálculo da propagación sonora por detrás da primeira liña de edificios, sempre que o método utilizado estea debidamente documentado, con información pertinente acerca da calidade do método. Este método pode substituír o cálculo de $A_{\text{boundary},H}$ e $A_{\text{boundary},F}$ mediante unha aproximación da atenuación total para a traxectoria directa e todas as reflexións. O cálculo basearase na densidade media de edificación e na altura media de todos os edificios da zona.

Nivel de presión sonora continuo equivalente a longo prazo para unha traxectoria de propagación (S,R).

O nivel de presión sonora continuo equivalente a «longo prazo» ao longo dunha traxectoria de propagación que parte dunha fonte puntual determinada obtense da suma logarítmica da enerxía sonora ponderada en condicións homoxéneas e da enerxía sonora en condicións favorables.

Este nivel de presión sonora continuo equivalente pódese coa ocorrencia media p de condicións favorables na dirección da traxectoria de propagación (S,R):

$$L_{LT} = 10 \times \lg \left(p \cdot 10^{\frac{L_F}{10}} + (1-p) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right) \quad (2.5.9)$$

NB: Os valores de ocorrencia p exprésanse en tanto por un. Polo tanto, como exemplo, se o valor de ocorrencia é 82 %, a ecuación (2.5.9) sería $p = 0,82$.

Nivel de presión sonora continuo equivalente a longo prazo no punto R para todas as traxectorias de propagación.

O nivel de presión sonora continuo equivalente total a longo prazo no receptor para unha banda de frecuencias obtense sumando enerxeticamente as contribucións de todas as traxectorias de propagación N, incluídos todos os tipos:

$$L_{tot,LT} = 10 \times \lg \left(\sum_n 10^{\frac{L_{n,LT}}{10}} \right) \quad (2.5.10)$$

onde

n é o índice das traxectorias de propagación entre S e R.

A consideración das reflexións mediante fontes de imaxe descríbese máis adiante. A porcentaxe de ocorrencias de condicións favorables no caso dun traxecto reflectido nun obstáculo vertical considérase idéntico á ocorrencia da traxectoria de propagación directa.

Se S' é a fonte de imaxe de S, entón a ocorrencia p' da traxectoria de propagación (S',R) considérase igual á ocorrencia p da traxectoria de propagación (S,R).

Nivel de presión sonora continuo equivalente a longo prazo no punto R en decibeles A (dBA).

O nivel de presión sonora continuo equivalente total en decibeles A (dBA) obtense mediante a suma dos niveis en cada banda de frecuencias:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \times \lg \sum_i 10^{(L_{tot,LT,i} + AWC_{fi})/10} \quad (2.5.11)$$

onde i é o índice da banda de frecuencias. AWC é a corrección con ponderación A de conformidade coa norma internacional CEI 61672-1:2003.

Este nivel $L_{Aeq,LT}$ constitúe o resultado final, é dicir, o nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación A a longo prazo no punto do receptor nun intervalo de tempo de referencia específico (por exemplo, o día ou a tarde, ou a noite ou un intervalo máis curto durante o día, a tarde ou a noite).

2.5.6. Cálculo da propagación do ruído para fontes viarias, ferroviarias e industriais.

Diverxencia xeométrica.

A atenuación por diverxencia xeométrica, A_{div} , correspóndese cunha redución do nivel de presión sonora continuo equivalente debido á distancia de propagación. Se se trata dunha fonte sonora puntual en campo libre, a atenuación en dB obtense mediante:

$$A_{div} = 20 \times \lg(d) + 11 \quad (2.5.12)$$

onde d é a distancia oblicua directa en 3D entre a fonte e o receptor.

Absorción atmosférica.

A atenuación por absorción atmosférica A_{atm} durante a propagación por unha distancia d obtense en dB mediante a ecuación:

$$A_{\text{atm}} = \alpha_{\text{atm}} \cdot d/1\,000 \quad (2.5.13)$$

onde

d é a distancia oblicua directa en 3D entre a fonte e o receptor en m;

α_{atm} é o coeficiente de atenuación atmosférica en dB/km á frecuencia central nominal para cada banda de frecuencias, en virtude da norma ISO 9613-1.

Os valores do coeficiente α_{atm} proporciónanse para unha temperatura de 15 °C, unha humidade relativa do 70 % e unha presión atmosférica de 101 325 Pa. Calcúlanse coas frecuencias centrais exactas da banda de frecuencias. Estes valores cumpren coa norma ISO 9613-1. Débese usar a media meteorolóxica a longo prazo no caso de que a información meteorolóxica estea dispoñible.

Efecto chan.

A atenuación polo efecto chan principalmente é o resultado da interferencia entre o son reflectido e o son propagado directamente desde a fonte ao receptor. Está fisicamente vinculada á absorción sonora do chan sobre o cal se propaga a onda sonora. Non obstante, tamén depende significativamente das condicións atmosféricas durante a propagación, xa que a curvatura dos raios modifica a altura da traxectoria por riba do chan e fai que os efectos chan e o terreo situado preto da fonte resulten máis ou menos importantes.

No caso de que a propagación entre a fonte e o receptor se vexa afectada por algún obstáculo no plano de propagación, o efecto chan calcúlase por separado con respecto á fonte e ao receptor. Neste caso, z_s e z_r fan referencia á posición da fonte equivalente ou do receptor, como se indica máis adiante cando se explica o cálculo da difracción A_{dif} .

Caracterización acústica do chan.

As propiedades da absorción sonora do chan están estreitamente relacionadas coa súa porosidade. O chan compacto adoita ser reflector, mentres que o chan poroso é absorbente.

Para os efectos dos requisitos de cálculo operativo, a absorción sonora dun chan represéntase mediante un coeficiente adimensional G , entre 0 e 1. G é independente da frecuencia. No cadro 2.5.a ofrécense os valores de G do chan en exteriores. En xeral, a media do coeficiente G con respecto a un traxecto adoita valores comprendidos entre 0 e 1.

Cadro 2.5.a
Valores de G para diferentes tipos de terreo.

Descrición	Tipo	(kPa · s/m ²)	Valor G
Moi brando (neve ou con herba)	A	12,5	1
Chan forestal brando (con breixo curto e denso ou carriza densa)	B	31,5	1
Chan brando non compacto (céspede, herba ou chan esponxoso)	C	80	1
Chan non compacto normal (chan forestal e chan de pastoreo)	D	200	1
Terreo compactado e grava (céspede compactado e zonas de parques)	E	500	0,7
Chan denso compactado (estrada de grava ou aparcadoiros)	F	2 000	0,3
Superficies duras (formigón e asfaltado convencional)	G	20 000	0
Superficies moi duras e densas (asfalto denso, formigón e auga)	H	200 000	0

G_{path} defínese como a fracción de terreo absorbente presente sobre toda a traxectoria de propagación cuberta. Cando a fonte e o receptor están preto de modo que $d_p \leq 30(z_s + z_r)$, a distinción entre o tipo de terreo situado preto da fonte e o tipo de terreo situado preto do receptor é insignificante. Para ter en conta este comentario, o factor de chan G_{path} corríxese en última instancia como segue:

$$G'_{path} = \begin{cases} G_{path} \frac{d_p}{30(z_s + z_r)} + G_s \left(1 - \frac{d_p}{30(z_s + z_r)} \right) & \text{se } d_p \leq 30(z_s + z_r) \\ G_{path} & \text{nos demais casos} \end{cases} \quad (2.5.14)$$

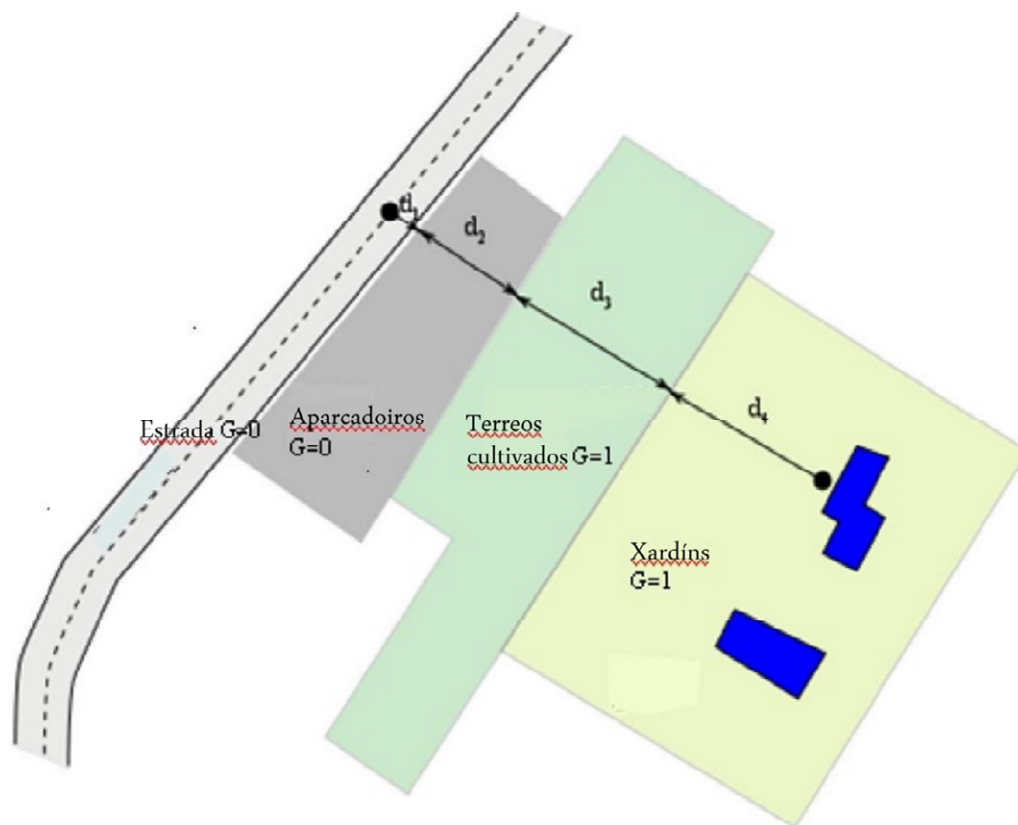
onde G_s é o factor de chan da fonte do tipo área. $G_s = 0$ para plataformas de estrada⁴ e vías en placa. $G_s = 1$ para vías férreas sobre balastro. Non hai unha regra xeral para o caso das plantas e das fontes industriais.

G pode estar vinculada á resistividade ao fluxo.

⁴ A absorción dos pavimentos de estradas porosos tense en conta no modelo de emisións.

Figura 2.5.b

Determinación do coeficiente do chan G_{path} sobre unha traxectoria de propagación



$$d_p = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

$$G_{path} = \frac{(0 \cdot d_1 + 0 \cdot d_2 + 1 \cdot d_3 + 1 \cdot d_4)}{d_p} = \frac{(d_3 + d_4)}{d_p}$$

Nas dúas subepígrafes seguintes sobre os cálculos en condicións homoxéneas e favorables preséntanse as notacións xenéricas \bar{G}_w e \bar{G}_m para a absorción do terreo. No cadro 2.5.b ofrécense as correspondencias entre estas notacións e as variables G_{path} e G'_{path} .

Cadro 2.5.b
Correspondencia entre \bar{G}_w e \bar{G}_m e (G_{path}, G'_{path})

	Condicións homoxéneas			Condicións favorables		
	A_{ground}	$\Delta_{ground(S,O)}$	$\Delta_{ground(O,R)}$	A_{ground}	$\Delta_{ground(S,O)}$	$\Delta_{ground(O,R)}$
\bar{G}_w	G'_{path}			G_{path}		
\bar{G}_m	G'_{path}			G_{path}	G'_{path}	G_{path}

Cálculos en condicións homoxéneas.

A atenuación polo efecto chan en condicións homoxéneas calcúlase coas seguintes ecuacións:

se $G_{\text{path}} \neq 0$

$$A_{\text{ground,H}} = \max \left(-10 \times \lg \left[4 \frac{k^2}{d_p^2} \left(z_s^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k} z_s + \frac{C_f}{k}} \right) \left(z_r^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k} z_r + \frac{C_f}{k}} \right) \right], A_{\text{ground,H,min}} \right) \quad (2.5.15)$$

onde

$$k = \frac{2\pi f_m}{c}$$

f_m é a frecuencia central nominal da banda de frecuencias considerada, en Hz; c é a velocidade do son no aire, considerada igual a 340 m/s, e C_f defínese como:

$$C_f = d_p \frac{1 + 3wd_p e^{-\sqrt{wd_p}}}{1 + wd_p} \quad (2.5.16)$$

onde os valores de w se obteñen mediante a seguinte ecuación:

$$w = 0,0185 \frac{f_m^{2.5} \overline{G_w}^{2.6}}{f_m^{1.5} \overline{G_w}^{2.6} + 1,3 \cdot 10^3 f_m^{0.75} \overline{G_w}^{1.3} + 1,16 \cdot 10^6} \quad (2.5.17)$$

$\overline{G_w}$ pode ser igual a G_{path} ou G'_{path} , en función de se o efecto chan se calcula con ou sen difracción e segundo a natureza do terreo que se encontra baixo a fonte (fonte real ou difractada). Isto especificase nas seguintes subepígrafes e resúmese no cadro 2.5.b.

$$A_{\text{ground,H,min}} = -3(1 - \overline{G_m}) \quad (2.5.18)$$

é o límite inferior de $A_{\text{ground,H}}$.

Para unha traxectoria de propagación (S_i, R) en condicións homoxéneas sen difracción:

$$\begin{aligned} \overline{G_w} &= G'_{\text{path}} \\ \overline{G_m} &= G'_{\text{path}} \end{aligned}$$

Con difracción, véxase a sección sobre a difracción para as definicións de $\overline{G_w}$ e $\overline{G_m}$.

Se $G_{\text{path}} = 0$: $A_{\text{ground,H}} = -3$ dB

O termo $-3(1 - \overline{G_m})$ ten en conta o feito de que, cando a fonte e o receptor están moi afastados, a primeira reflexión no lado da fonte xa non está na plataforma, senón sobre terreo natural.

Cálculos en condicións favorables.

O efecto chan en condicións favorables calcúlase coa ecuación $A_{\text{ground,H}}$, sempre que se realicen as seguintes modificacións:

Si $G_{\text{path}} \neq 0$

- a) Na ecuación $A_{\text{ground,H}}$, as alturas z_s e z_r substitúense por $z_s + \delta z_s + \delta z_T$ e $z_r + \delta z_r + \delta z_T$, respectivamente, onde

$$\begin{cases} \delta z_s = a_0 \left(\frac{z_s}{z_s + z_r} \right)^2 \frac{d_p^2}{2} \\ \delta z_r = a_0 \left(\frac{z_r}{z_s + z_r} \right)^2 \frac{d_p^2}{2} \end{cases} \quad (2.5.19)$$

$a_0 = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$ é o inverso do raio de curvatura

$$\delta z_T = 6 \cdot 10^{-3} \frac{d_p}{z_s + z_r}$$

- b) O límite inferior de $A_{\text{ground,F}}$ depende da xeometría da traxectoria:

$$A_{\text{ground,F,min}} = \begin{cases} -3(1 - \overline{G}_m) & \text{se } d_p \leq 30(z_s + z_r) \\ -3(1 - \overline{G}_m) \cdot \left(1 + 2 \left(1 - \frac{30(z_s + z_r)}{d_p} \right) \right) & \text{Nos demais casos} \end{cases} \quad (2.2.20)$$

Se $G_{\text{path}} = 0$

$$A_{\text{ground,F}} = A_{\text{ground,F,min}}$$

As correccións da altura δz_s e δz_r transmiten o efecto da curvatura do raio acústico. δz_T representa o efecto da turbulencia.

\overline{G}_m pode ser igual a G_{path} ou G'_{path} , en función de se o efecto chan se calcula con ou sen difracción e segundo a natureza do terreo que se encontra baixo a fonte (fonte real ou difractada). Isto especificase nas seguintes subepígrafes:

Para un traxecto (S_i, R) en condicións favorables sen difracción:

$$\overline{G}_w = G_{\text{path}} \text{ na ecuación (2.5.17);}$$

$$\overline{G}_m = G'_{\text{path}}.$$

Con difracción, véxase a sección seguinte para as definicións de \overline{G}_w e \overline{G}_m .

Difracción.

Por norma xeral, a difracción débese estudar na parte superior de cada obstáculo situado na traxectoria de propagación. Se a traxectoria pasa a una «altura suficiente» por riba do bordo de difracción, pódese definir $A_{\text{dif}} = 0$ e pódese calcular unha traxectoria directa, en particular mediante a avaliación de A_{ground} .

Na práctica, para cada frecuencia central da banda de frecuencias, a diferenza da traxectoria δ cómparase coa cantidade $-\lambda/20$. Se un obstáculo non produce difracción, por exemplo se isto se pode determinar segundo o criterio de Rayleigh, non é necesario calcular A_{dif} para a banda de frecuencias considerada. Noutras palabras,

$A_{\text{dif}} = 0$ neste caso. Do contrario, A_{dif} calcúlase segundo se describe nas demais partes desta sección. Esta norma aplícase, tanto en condicións homoxéneas como favorables, para a difracción individual e múltiple.

Se, para unha banda de frecuencias determinada, se realiza un cálculo seguindo o procedemento descrito nesta sección, A_{ground} defínese como igual a 0 dB ao calcular a atenuación total. O efecto chan tense en conta directamente na ecuación para o cálculo xeral da difracción.

As ecuacións propostas úsanse para avaliar a difracción en pantallas delgadas, pantallas grosas, edificios, diques de terra (naturais ou artificiais) e nos bordos de terrapléns, desmontes e viadutos.

De se encontraren varios obstáculos con capacidade de difracción nunha traxectoria de propagación, trátanse como unha difracción múltiple mediante a aplicación do procedemento descrito na seguinte sección, que trata sobre o cálculo da diferenza de traxecto.

Os procedementos que aquí se describen utilízanse para calcular as atenuacións tanto en condicións homoxéneas coma favorables. A curvatura do raio tense en conta no cálculo da diferenza de traxecto e para calcular os efectos chan antes e despois da difracción.

Principios xerais.

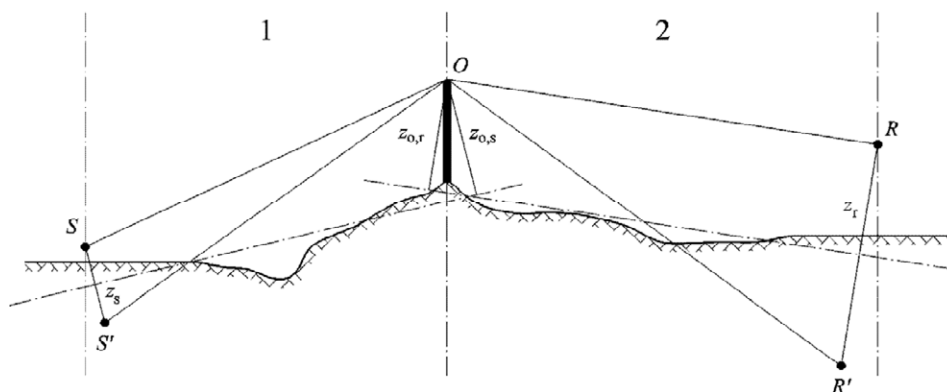
Na figura 2.5.c ilústrase o método xeral de cálculo da atenuación por difracción. Este método baséase en dividir en dous a traxectoria de propagación: a traxectoria do «lado da fonte», situada entre a fonte e o punto de difracción, e a traxectoria do «lado do receptor», situada entre o punto de difracción e o receptor.

Calcúlase o seguinte:

- un efecto chan, no lado da fonte, $\Delta_{\text{ground}}(S,O)$
- un efecto chan, no lado do receptor, $\Delta_{\text{ground}}(O,R)$
- e tres difraccións:
 - entre a fonte S e o receptor R: $\Delta_{\text{dif}}(S,R)$
 - entre a imaxe da fonte S' e R: $\Delta_{\text{dif}}(S',R)$
 - entre S e a imaxe do receptor R' : $\Delta_{\text{dif}}(S,R')$

Figura 2.5.c

Xeometría dun cálculo da atenuación por difracción



- 1: lado da fonte
- 2: lado do receptor

onde

S é a fonte;

R é o receptor;

S' é a imaxe da fonte respecto ao plano medio do chan no lado da fonte;

R' é a imaxe do receptor respecto ao plano medio do chan no lado do receptor;

O é o punto de difracción;

z_S é a altura equivalente da fonte S respecto ao plano medio do chan no lado da fonte;

$z_{O,S}$ é a altura equivalente do punto de difracción O respecto ao plano medio do chan no lado da fonte;

z_R é a altura equivalente do receptor R respecto ao plano medio do chan no lado do receptor;

$z_{O,R}$ é a altura equivalente do punto de difracción O respecto ao plano medio do chan no lado do receptor.

A irregularidade do chan entre a fonte e o punto de difracción, e entre o punto de difracción e o receptor, tense en conta mediante alturas equivalentes calculadas en relación co plano medio do chan, o primeiro lado da fonte e o segundo lado do receptor (dous planos medios do chan) segundo o método descrito na subepígrafe dedicada ás alturas importantes sobre o chan.

Difracción pura.

Para a difracción pura, sen efectos chan, a atenuación calcúlase mediante:

$$\Delta_{dif} = \begin{cases} 10C_h \cdot \lg\left(3 + \frac{40}{\lambda} C''\delta\right) & \text{se } \frac{40}{\lambda} C''\delta \geq -2 \\ 0 & \text{Nos demais casos} \end{cases} \quad (2.5.21)$$

Onde

$$C_h = 1 \quad (2.5.22)$$

λ é a lonxitude de onda da frecuencia central nominal da banda de frecuencias considerada;

δ é a diferenza de traxecto entre a traxectoria difractado e a traxectoria directo (véxase a seguinte subepígrafe sobre o cálculo da diferenza de traxecto);

C'' é un coeficiente utilizado para ter en conta difraccións múltiples:

$C'' = 1$ para unha única difracción.

Para unha difracción múltiple, se e é a distancia total da traxectoria de propagación, O1 a O2 + O2 a O3 + O3 a O4 a partir do «método da banda elástica» (véxanse as figuras 2.5.d e 2.5.f) e se e excede 0,3 m (do contrario, $C'' = 1$), este coeficiente defínese como:

$$C'' = \frac{1 + \left(\frac{5\lambda}{e}\right)^p}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5\lambda}{e}\right)^p} \quad (2.5.23)$$

Os valores de Δ_{dif} deben estar limitados:

— se $\Delta_{\text{dif}} < 0$: $\Delta_{\text{dif}} = 0$ dB

— se $\Delta_{\text{dif}} > 25$: $\Delta_{\text{dif}} = 25$ dB para unha difracción sobre o bordo horizontal e só sobre o termo Δ_{dif} que figura no cálculo de A_{dif} . Este límite superior non se debe aplicar nos termos Δ_{dif} que interveñen no cálculo de Δ_{ground} ou para unha difracción sobre un bordo vertical (difracción lateral) no caso da cartografía de ruído industrial.

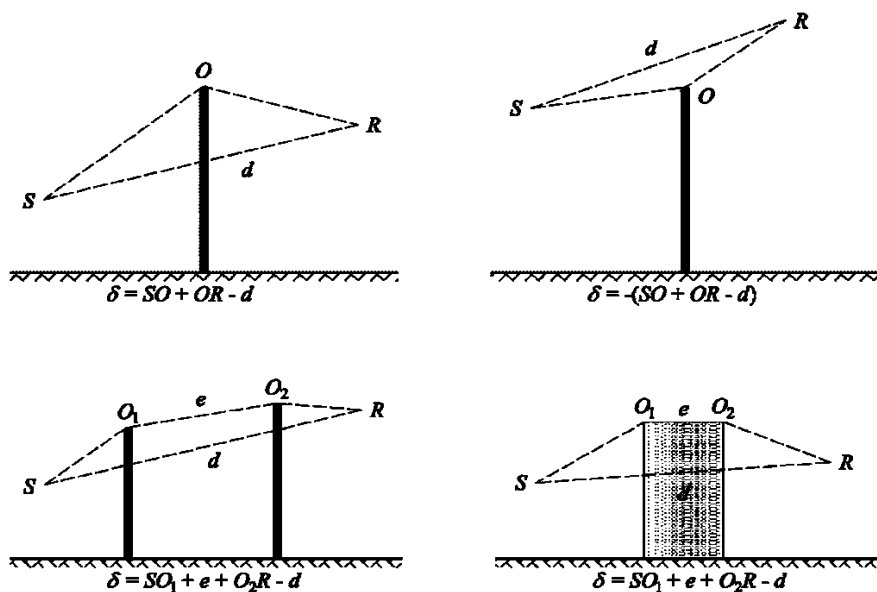
Cálculo da diferenza de traxecto.

A diferenza de traxecto δ calcúlase nun plano vertical que contén a fonte e o receptor. Trátase dunha aproximación en relación co principio de Fermat. A aproximación continúa sendo aplicable aquí (fontes lineais). A diferenza de traxecto δ calcúlase como se ilustra nas seguintes figuras, en función das situacións de que se trate.

Condições homoxéneas.

Figura 2.5.d

Cálculo da diferenza de traxecto en condicións homoxéneas. O , O_1 e O_2 son os puntos de difracción

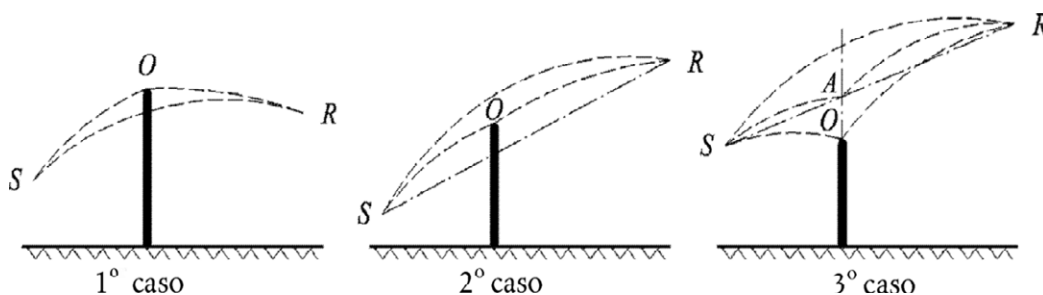


Nota: Para cada configuración, proporciónase a expresión de δ .

Condições favorables

Figura 2.5.e

Cálculo da diferenza de traxecto en condicións favorables (difración individual)



En condicións favorables, considérase que os tres raios de son curvados SO, OR e SR teñen un raio de curvatura idéntico Γ definido mediante:

$$\Gamma = \max(1\ 000,8d) \quad (2.5.24)$$

A lonxitude dunha curva do raio sonoro MN represéntase como $\hat{M}N$ en condicións favorables. A lonxitude é igual a:

$$\hat{M}N = 2\Gamma \arcsin\left(\frac{MN}{2\Gamma}\right) \quad (2.5.25)$$

En principio, débense considerar tres escenarios no cálculo da diferenza de traxecto en condicións favorables δ_F (véxase a figura 2.5.e). Na práctica, dúas ecuacións son suficientes:

— se o raio sonoro recto SR é enmascarado mediante o obstáculo (primeiro e segundo caso da figura 2.5.e):

$$\delta_F = \hat{S}O + \hat{O}R - \hat{S}R \quad (2.5.26)$$

— se o raio sonoro recto SR non é enmascarado mediante o obstáculo (terceiro caso da figura 2.5.e):

$$\delta_F = 2\hat{S}A + 2\hat{A}R - \hat{S}O - \hat{O}R - \hat{S}R \quad (2.5.27)$$

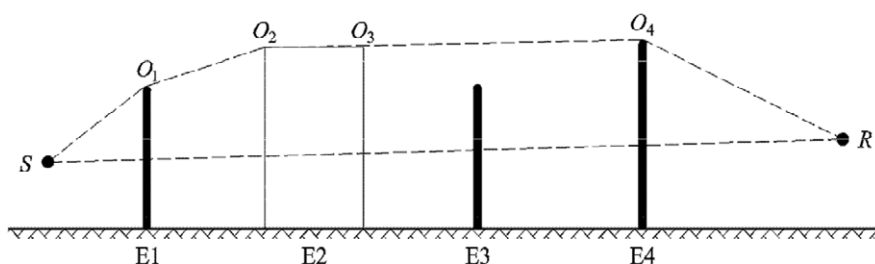
onde A é a intersección do raio sonoro recto SR e a extensión do obstáculo difractor. Para múltiples difraccións en condicións favorables:

- determinar a envolvente convexa definida polos diferentes bordos potenciais de difracción;
- eliminar os bordos de difracción que non se encontran dentro do límite da envolvente convexa;
- calcular δ_F en función das lonxitudes do raio sonoro curvado, dividindo a traxectoria difractado en tantos segmentos curvados como sexa necesario (véxase a figura 2.5.f)

$$\delta_F = \hat{S}O_1 + \sum_{i=1}^{i=n-1} O_i \hat{O}_{i+1} + \hat{O}_n R - \hat{S}R \quad (2.5.28)$$

Figura 2.5.f

Exemplo de cálculo da diferenza de traxecto en condicións favorables, no caso de difraccións múltiples



No escenario presentado na figura 2.5.f, a diferenza de traxecto é:

$$\delta_F = \hat{S}O_1 + O_1 \hat{O}_2 + O_2 \hat{O}_3 + O_3 \hat{O}_4 + \hat{O}_4 R - \hat{S}R \quad (2.2.29)$$

Cálculo da atenuación A_{dif} .

A atenuación por difracción, tendo en conta os efectos chan no lado da fonte e no lado do receptor, calcúlase mediante as seguintes ecuacións xerais:

$$A_{dif} = \Delta_{dif}(S,R) + \Delta_{ground}(S,O) + \Delta_{ground}(O_n,R) \quad (2.5.30)$$

onde

- $\Delta_{\text{dif}}(S,R)$ é a atenuación pola difracción entre a fonte S e o receptor R;
- $\Delta_{\text{ground}}(S,O)$ é a atenuación polo efecto chan no lado da fonte, ponderada mediante a difracción no lado da fonte, onde se entende que $O = O_1$ no caso de difraccións múltiples, tal e como se ilustra na figura 2.5.f
- $\Delta_{\text{ground}}(O,R)$ é a atenuación polo efecto chan no lado do receptor, ponderada mediante a difracción no lado do receptor (véxase a subepígrafe seguinte sobre o cálculo do termo $\Delta_{\text{ground}}(O,R)$).

Cálculo do termo $\Delta_{\text{ground}}(S,O)$.

$$\Delta_{\text{ground}(S,O)} = -20 \times \lg \left(1 + \left(10^{-\frac{A_{\text{ground}(S,O)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{-\frac{(\Delta_{\text{dif}}(S',R) - \Delta_{\text{dif}}(S,R))}{20}} \right) \quad (2.5.31)$$

onde

- $A_{\text{ground}}(S,O)$ é a atenuación polo efecto chan entre a fonte S e o punto de difracción O. Este termo calcúlase como se indicou na subepígrafe anterior relativa aos cálculos en condicións homoxéneas, e na subepígrafe anterior que trata sobre o cálculo en condicións favorables, coas seguintes hipóteses:

$$z_r = z_{0,s};$$

- G_{path} calcúlase entre S e O;
- En condicións homoxéneas: $\bar{G}_w = G'_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.17), $\bar{G}_m = G'_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.18);
- En condicións favorables: $\bar{G}_w = G_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.17), $\bar{G}_m = G'_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.20);
- $\Delta_{\text{dif}}(S',R)$ é a atenuación pola difracción entre imaxe da fonte S' e R, calculada segundo se indicou na subepígrafe anterior sobre a difracción pura;
- $\Delta_{\text{dif}}(S,R)$ é a atenuación pola difracción entre S e R, calculada como na subepígrafe VI.4.4.b.

Cálculo do termo $\Delta_{\text{ground}}(O,R)$

$$\Delta_{\text{ground}(O,R)} = -20 \times \lg \left(1 + \left(10^{-\frac{A_{\text{ground}(O,R)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{-\frac{(\Delta_{\text{dif}}(S,R) - \Delta_{\text{dif}}(S',R))}{20}} \right) \quad (2.5.32)$$

onde

- $A_{\text{ground}}(O,R)$ é a atenuación polo efecto chan entre o punto de difracción O e o receptor R. Este termo calcúlase como se indicou na subepígrafe anterior relativa aos cálculos en condicións homoxéneas e na subepígrafe anterior que trata sobre o cálculo en condicións favorables, coas seguintes hipóteses:

$$z_s = z_{0,r}$$

- G_{path} calcúlase entre O e R.

Non é necesario ter en conta aquí a corrección de G'_{path} , xa que a fonte considerada é o punto de difracción. Por tanto, G_{path} débese usar para calcular os efectos chan, mesmo para o termo do límite inferior da ecuación $-3(1 - G_{\text{path}})$.

- En condicións homoxéneas, $\overline{G}_w = G_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.17) e $\overline{G}_m = G_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.18);
- En condicións favorables, $\overline{G}_w = G_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.17) e $\overline{G}_m = G_{\text{path}}$ na ecuación (2.5.20);
- $\Delta_{\text{dif}}(S,R')$ é a atenuación por difracción entre S e a imaxe do receptor R', calculada como se describiu na sección anterior relativa á difracción pura;
- $\Delta_{\text{dif}}(S,R)$ é a atenuación por difracción entre S e R, calculada como se describiu na subepígrafe anterior sobre a difracción pura.

Escenarios de bordos verticais.

A ecuación (2.5.21) pódese utilizar para calcular as difraccións nos bordos verticais (difraccións laterais) no caso do ruído industrial. Se se dá este caso, considérase $A_{\text{dif}} = \Delta_{\text{dif}}(S,R)$ e mantense o termo A_{ground} . Así mesmo, A_{atm} e A_{ground} débense calcular a partir da lonxitude total da traxectoria de propagación. A_{div} calcúlase tamén a partir da distancia directa d. As ecuacións (2.5.8) e (2.5.6), respectivamente, son:

$$A_H = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}}^{\text{path}} + A_{\text{ground,H}}^{\text{path}} + \Delta_{\text{dif,H}}(S,R) \quad (2.5.33)$$

$$A_F = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}}^{\text{path}} + A_{\text{ground,F}}^{\text{path}} + \Delta_{\text{dif,H}}(S,R) \quad (2.5.34)$$

Δ_{dif} utilízase en condicións homoxéneas na ecuación (2.5.34).

Reflexión sobre obstáculos verticais.

Atenuación por absorción.

As reflexións sobre obstáculos verticais trátanse mediante imaxe das fontes. As reflexións sobre as fachadas dos edificios e as barreiras acústicas trátanse desta forma.

Un obstáculo considérase como vertical se a súa inclinación en relación coa vertical é inferior a 15°.

No caso de reflexións sobre obxectos cuxa inclinación en relación coa vertical é maior ou igual a 15°, non se ten en conta o obxecto.

Os obstáculos nos cales polo menos unha dimensión é inferior a 0,5 m débense ignorar no cálculo da reflexión, salvo para configuracións especiais⁵.

Nótase que as reflexións sobre o chan non se tratan aquí. Téñense en conta nos cálculos da atenuación debido aos límites (chan e difracción).

Se L_{WS} é o nivel de potencia da fonte S e α_r é o coeficiente de absorción da superficie do obstáculo, como se define na norma EN 1793-1:2013, entón o nivel de potencia da imaxe da fonte S' é igual a:

$$L_{WS'} = L_{WS} + 10 \cdot \lg(1 - \alpha_r) = L_{WS} + A_{\text{refl}} \quad (2.5.35)$$

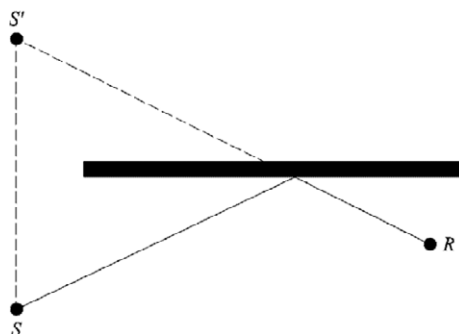
onde $0 \leq \alpha_r < 1$

As atenuacións na propagación descritas anteriormente aplícanse a este traxecto (imaxe da fonte - receptor) como se aplican a un traxecto directo.

⁵ Unha rede de obstáculos pequenos nun plano e a intervalos regulares constitúe un exemplo dunha configuración especial.

Figura 2.5.g

Reflexión especular sobre un obstáculo tratado mediante o método da imaxe da fonte
(S: fonte, S': imaxe da fonte, R: receptor)



Atenuación pola retrodifracción.

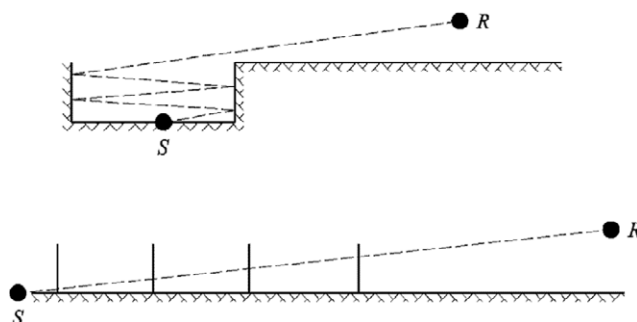
Na busca xeométrica de traxectos acústicos, durante a reflexión nun obstáculo vertical (un muro ou un edificio), a posición do impacto do raio en relación co bordo superior deste obstáculo determina a proporción máis ou menos importante da enerxía reflectida efectivamente. Esta perda de enerxía sonora cando o raio experimenta unha reflexión denomínase atenuación a través da retrodifracción.

No caso de que se dean posibles reflexións múltiples entre dous muros verticais, polo menos debe terse en conta a primeira reflexión.

Se se trata dunha trincheira (véxase, por exemplo, a figura 2.5.h), a atenuación por retrodifracción débese aplicar a cada reflexión nos muros de contención.

Figura 2.5.h

Raio sonoro reflectido na orde de 4 nunha pista dunha vía en trincheira: sección transversal real (arriba) e sección transversal despregada (abaixo)



Nesta representación, o raio sonoro alcanza o receptor «pasando posteriormente a través» dos muros de contención da gabia, que, por tanto, se pode comparar coas aperturas.

Ao calcular a propagación a través dunha apertura, o campo acústico no receptor é a suma do campo directo e o campo difractado polos bordos da apertura. Este campo difractado garante a continuidade da transición entre

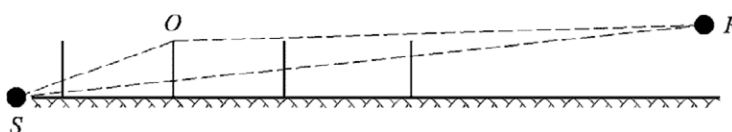
a área libre e a área sombreada. Cando o raio alcanza o bordo da apertura, o campo directo atenúase. O cálculo é idéntico ao da atenuación mediante unha barreira na área libre.

A diferenza de traxecto δ' asociada con cada retrodifracción é o oposto da diferenza de traxecto entre S e R con respecto a cada bordo superior O, nunha sección transversal despregada (véxase a figura 2.5.i).

$$\delta' = - (SO + OR - SR) \quad (2.5.36)$$

Figura 2.5.i

A diferenza de traxecto para a segunda reflexión



O signo «menos» da ecuación (2.5.36) significa que o receptor se ten en conta aquí na área libre.

A atenuación a través da retrodifracción Δ_{retrodif} obtense mediante a ecuación (2.5.37), que é similar á ecuación (2.5.21) con notacións reformuladas.

$$\Delta_{\text{retrodif}} = \begin{cases} 10C_h \cdot \lg \left(3 + \frac{40}{\lambda} \delta' \right) & \text{se } \frac{40}{\lambda} \delta' \geq -2 \\ 0 & \text{nos demais casos} \end{cases} \quad (2.5.37)$$

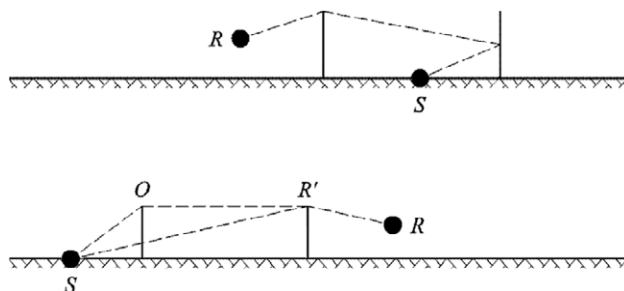
Esta atenuación aplícase ao raio directo cada vez que «pasa a través» (se reflecte) dun muro ou edificio. O nivel de potencia da imaxe da fonte S' é:

$$L_{W'} = L_W + 10 \times \lg(1 - \alpha_r) - \Delta_{\text{retrodif}} \quad (2.5.38)$$

En configuracións de propagación complexas, poden existir difraccións entre reflexións, ou ben entre o receptor e as reflexións. Neste caso, a retrodifracción dos muros calcúlase ao considerar a traxectoria entre a fonte e o primeiro punto de difracción R' (considerado, por tanto, como o receptor na ecuación (2.5.36)). Este principio ilústrase na figura 2.5.j.

Figura 2.5.j

A diferenza de traxecto con presenza dunha difracción: sección transversal real (arriba) e sección transversal despregada (abaixo)



En caso de reflexións múltiples, engádense as reflexións por cada reflexión individual.

2.6. Disposicións xerais — Ruído de aeronaves.

2.6.1. Definicións e símbolos.

Aquí describíense algúns termos importantes atribuíndolles significados xerais neste documento. A lista non é completa; de feito, só se inclúen expresións e acrónimos utilizados con frecuencia. Outros describíense a primeira vez que aparecen.

Os símbolos matemáticos (que aparecen despois dos termos) son os símbolos principais que se utilizan nas ecuacións no texto principal. Outros símbolos utilizados localmente no texto e nos apéndice defínense cando se usan.

Ao lector recórdaselle periodicamente a intercambiabilidade das palabras son e ruído neste documento. Aínda que a palabra ruído ten connotacións subxectivas —os técnicos acústicos adoitan definilo como «son interferente»— no campo do control de ruído de aeronaves adoita considerarse só como son —enerxía aérea transmitida polo movemento das ondas sonoras—. O símbolo -> denota referencias cruzadas a outros termos incluídos na lista.

Definicións

AIP	Publicación de información aeronáutica.
Configuración da aeronave	Posición dos <i>slats</i> , <i>flaps</i> e trens de aterraxe.
Movementos de aeronaves	Unha aterraxe, unha engalaxe ou outra acción da aeronave que afecta a exposición ao ruído no contorno dun aeródromo.
Datos de ruído e rendemento (<i>performance</i>) das aeronaves	Datos que describen as características acústicas e de rendemento (<i>performance</i>) dos diferentes tipos de avións necesarios para o proceso de modelización. Inclúen as -> <i>curvas NPD</i> e información que permite calcular a potencia ou o pulo do reactor como unha función da -> <i>configuración do voo</i> . Os datos acostuma facilitalos o fabricante da aeronave aínda que, cando non é posible, ás veces se obteñen doutras fontes. Se non hai datos dispoñibles, é habitual representar a aeronave de que se trate adaptando os datos para unha aeronave convenientemente similar —a isto faise referencia co termo substitución—.
Altitude	Altura por riba do nivel medio do mar.
Base de datos ANP	A base de datos do ruído e o rendemento das aeronaves inclúense no apéndice I.
Nivel sonoro con ponderación A,	L_A escala básica de nivel de son/ruído utilizada para medir o ruído ambiental, incluído o que xeran as aeronaves e no cal se basean a maioría das métricas das curvas de nivel de ruído (isófonas).
Traxectoria principal en terra	Unha liña representativa ou ruta nominal que define o centro dunha banda de dispersión de traxectorias.
Nivel do evento sonoro da liña base	O nivel do evento sonoro que figura nunha base de datos NPD.
Liberación do freo	<i>Punto de partida de rodaxe</i>

Pulo neto corrixido	Nunha regraxe da potencia determinada (por exemplo, EPR ou N1), o pulo neto diminúe ao diminuír a densidade do aire, polo que aumenta ao aumentar a altitude do aeroplano; o pulo neto corrixido é o valor no nivel do mar.
Nivel de son/ruído acumulado	Unha medida en decibele do ruído recibido durante un período de tempo específico, nun punto próximo a un aeroporto, con tráfico aéreo en condicións de funcionamento e traxectorias de voo normais. Calcúlase mediante a acumulación dos niveis de son/ruído do evento que se producen no dito punto.
Suma ou media de decibele	Ás veces denomínase suma ou media enerxética ou logarítmica (en oposición aos valores aritméticos). Utilízase para sumar ou calcular a media de cantidades expresadas en niveis; por exemplo, a suma de decibele: $= 10 \cdot \lg \sum 10^{L_i/10}$
Fracción de enerxía, F	Relación entre a enerxía acústica recibida do segmento e a enerxía recibida da traxectoria de voo infinita.
Regraxe de potencia do motor	Valor do \rightarrow <i>parámetro de potencia relacionado co ruído</i> utilizado para determinar a emisión de ruído que figura na base de datos NPD.
Nivel sonoro continuo equivalente L_{eq}	Unha medida do son a longo prazo. É o nivel sonoro dun son continuo estable que, durante un período de tempo específico, contén a mesma enerxía total que o son variable real.
Nivel de son/ruído do evento	Unha medida en decibele da enerxía acústica recibida polo paso dun avión \rightarrow <i>nivel de exposición ao ruído</i>
Configuración do voo	$= \rightarrow$ <i>Configuración da aeronave</i> + \rightarrow <i>Parámetros do voo</i>
Parámetros do voo	Regraxe da potencia da aeronave, velocidade, ángulo de empenamento e peso.
Traxectoria do voo	A traxectoria dun avión no aire, definida en tres dimensións, normalmente con referencia a unha orixe no punto da carreira de engalaxe ou no limiar de aterraxe.
Segmento da traxectoria do voo	Parte da traxectoria do voo dunha aeronave representada para efectos de modelización acústica mediante unha liña recta de lonxitude finita.
Procedemento do voo	A secuencia de pasos operativos que segue a tripulación ou o sistema de xestión do voo expresada como cambios da configuración do voo como unha función de distancia ao longo da traxectoria en terra.
Perfil do voo	Variación da altura do avión ao longo da traxectoria en terra (ás veces tamén inclúe cambios de \rightarrow <i>configuración do voo</i>), que se describe como un conxunto de \rightarrow <i>puntos do perfil</i> .
Plano de terra	(Ou terra nominal). Superficie de terra horizontal a través do punto de referencia do aeródromo no cal se adoitan calcular as curvas de nivel de ruído.
Velocidade respecto ao chan	Velocidade do aeroplano relativa a un punto fixo no chan.

Traxectoria en terra	Proxección vertical da traxectoria de voo no plano de terra.
Altura	Distancia vertical entre o avión e o -> <i>plano de terra</i> .
Nivel sonoro integrado	Tamén denominado -> <i>nivel de exposición sonora de evento simple</i> .
ISA	Atmosfera tipo internacional definida pola OACI. Define a variación da temperatura do aire, a presión e a densidade coa altura sobre o nivel medio do mar. Utilízase para normalizar os resultados dos cálculos de deseño do avión e a análise dos datos de proba.
Atenuación lateral	Exceso de atenuación do son cunha distancia atribuíble, directa ou indirectamente, á presenza da superficie do terreo. Importante a ángulos baixos de elevación (do aeroplano por riba do plano de terra).
Nivel sonoro de ruído máximo	O nivel sonoro máximo acadado durante un evento.
Nivel medio do mar, MSL	A elevación estándar da superficie terrestre a que fai referencia a -> <i>ISA</i> .
Pulo neto	A forza propulsora exercida por un motor na fuselaxe.
Ruído	O ruído defínese como son non desexado. Non obstante, as métricas como o <i>nivel sonoro con ponderación A (L_A)</i> e o <i>nivel efectivo de ruído percibido (EPNL)</i> efectivamente converten os niveis sonoros en niveis de ruído. A pesar da consecuente falta de rigor, os termos son e ruído ás veces úsanse indistintamente neste documento, como noutras partes, sobre todo en combinación coa palabra <i>nivel</i> .
Curvas de nivel sonoro / (Isófonas)	Unha liña do valor constante do nivel sonoro / de ruído acumulado das aeronaves no contorno dun aeroporto.
Impacto do ruído	Os efectos adversos do ruído nos receptores; as métricas do ruído son indicadores do impacto do ruído.
Índice de ruído	Unha medida do son a longo prazo ou acumulativo que está relacionado (é dicir, considérase unha variable explicativa de) cos seus efectos adversos nas persoas. Pode ter en conta en certa medida algúns factores, ademais da magnitude do son (en particular a hora do día). Un exemplo é o nivel día-tarde-noite <i>L_{DEN}</i> .
Nivel de ruído	Unha medida de son en decibeles nunha escala que indica a súa sonoridade ou a súa ruidosidade. No caso do ruído ambiental orixinado polas aeronaves, adoitan utilizarse dúas escalas: nivel sonoro con ponderación A e nivel de ruído percibido. Estas escalas aplican diferentes ponderacións ao son de distintas frecuencias, co fin de simular a percepción humana.
Índice de ruído	Unha expresión utilizada para describir calquera medida da cantidade de ruído na posición dun receptor, independentemente de que se trate dun único evento ou dunha acumulación de ruídos durante un tempo prolongado. Hai dúas medidas do ruído dun único evento que se usan habitualmente: o nivel máximo acadado durante o evento ou

	ben o seu nivel de exposición ao ruído, unha medida da súa enerxía acústica total determinada pola integración temporal.
Datos/relacións ruído-potencia distancia (NPD)	Niveis sonoros dun evento tabulados en función da distancia por debaixo dun aeroplano nun voo de nivel constante a unha velocidade de referencia nunha atmosfera de referencia, para cada un dos -> <i>configuración da potencia do motor</i> . Os datos teñen en conta os efectos da atenuación acústica por propagación da onda esférica (lei da inversa dos cadrados da distancia) e a absorción atmosférica. A distancia defínese como perpendicular á traxectoria de voo do aeroplano e ao eixe aerodinámico da á do avión (é dicir, en vertical por debaixo do avión en voos sen empenamento).
Parámetro de potencia relacionada co ruído	Parámetro que describe ou indica o esforzo de propulsión xerado polo motor dunha aeronave co que se pode relacionar de maneira lóxica a emisión de potencia acústica, que polo xeral se denomina -> <i>pulo neto corrixido</i> . Neste texto, en xeral denomínase «potencia» ou «regraxe da potencia».
Significancia do ruído	A contribución do segmento da traxectoria do voo é «significante desde o punto de vista do ruído» se afecta o nivel de ruído do evento na medida en que resulte apreciable. Ignorar os segmentos que non revisten importancia desde o punto de vista do ruído produce aforros masivos no procesamento por ordenador.
Observador	-> <i>Receptor</i> .
Etapas do procedemento	Prescrición dun perfil de voo (os pasos inclúen cambios de velocidade ou altitude).
Punto do perfil	Altura do punto final do segmento da traxectoria do voo (nun plano vertical sobre a traxectoria en terra).
Receptor	Un receptor do ruído que chega desde unha fonte; principalmente nun punto na superficie do terreo ou próxima a ela.
Atmosfera de referencia	Unha tabulación de parámetros de absorción do ruído utilizada para normalizar os datos de NPD (véxase o apéndice D).
Día de referencia	Un conxunto de condicións atmosféricas conforme as cales se normalizan os datos de ANP.
Duración de referencia	Un intervalo de tempo nominal utilizado para normalizar as medidas do nivel de exposición ao ruído dun único evento; igual a 1 segundo no caso de -> <i>SEL</i> .
Velocidade de referencia	Velocidade do aeroplano respecto ao chan conforme a cal se normalizan os datos SEL de -> <i>NPD</i> .
SEL	-> <i>Nivel de exposición ao ruído</i> .
Nivel de exposición ao ruído de evento simple	O nivel de son que tería un evento se toda a súa enerxía acústica se comprimise de maneira uniforme nun intervalo de tempo estándar coñecido como a -> <i>duración de referencia</i> .

Terreo brando	Unha superficie do terreo que, en termos acústicos, é «branda», polo xeral o chan cuberto de herba, que rodea a maioría dos aeródromos. As superficies do terreo acusticamente duras, é dicir, altamente reflectantes, inclúen o formigón e a auga. A metodoloxía de obtención das curvas de ruído descrita aquí aplicase ás condicións de superficies brandas.
Son	Enerxía transmitida a través do aire mediante o movemento ondulatorio (lonxitudinal) que é percibida polo oído.
Atenuación acústica	A redución da intensidade do son coa distancia ao longo da traxectoria de propagación. Entre as súas causas, no caso do ruído de aeronaves, destacan a propagación ondulatoria esférica, a absorción atmosférica e a -> <i>atenuación lateral</i> .
Exposición ao ruído	Unha medida de inmisión de enerxía acústica total durante un período de tempo.
Nivel de exposición ao ruído, L_{AE} (acrónimo SEL)	Unha métrica normalizada na ISO 1996-1 ou na ISO 3891 = Un nivel de exposición ao ruído dun evento simple con ponderación A con referencia a 1 segundo.
Intensidade acústica	A intensidade da inmisión acústica nun punto relaciónase coa enerxía acústica (e indicada mediante niveis sonoros medidos).
Nivel sonoro	Unha medida de enerxía acústica expresada en unidades de decibel. O son recibido mídese con ou sen «ponderación de frecuencia»; os niveis medidos cunha ponderación determinada denomínanse a miúdo -> <i>niveis de ruído</i>
Lonxitude da etapa ou da viaxe	Distancia ata o primeiro destino da aeronave que engala; considérase como un indicador do peso da aeronave.
Punto de partida de rodaxe, SOR	O punto da pista desde o cal unha aeronave empeza a engalar. Tamén se denomina «liberación do freo».
Velocidade real	Velocidade real da aeronave en relación co aire. (= velocidade respecto ao chan con aire en calma).
Nivel de son continuo equivalente corrixido, $L_{eq,W}$	Unha versión modificada de L_{eq} en que se asignan diferentes ponderacións ao ruído que se produce durante diferentes períodos do día (normalmente durante o día, a tarde e a noite).
Símbolos	
d	Distancia máis curta desde un punto de observación ata un segmento da traxectoria do voo
d_p	Distancia perpendicular desde un punto de observación ata a traxectoria de voo (distancia oblicua)
d_λ	Distancia a escala
F_n	Pulo neto real por motor

F_n/δ	Pulo neto corrixido por motor
h	Altitude da aeronave (por riba de MSL)
L	Nivel de ruído do evento (escala indefinida)
$L(t)$	Nivel sonoro no intervalo de tempo t (escala indefinida)
$L_A, L_A(t)$	Un nivel de presión sonora ponderado A (no intervalo de tempo t), medido con ponderación temporal <i>slow</i>
L_{AE}	(SEL) Nivel de exposición ao ruído
L_{Amax}	Valor máximo de $L_A(t)$ durante un evento
L_E	Nivel de exposición ao ruído de evento simple
$L_{E\infty}$	Nivel de exposición ao ruído de evento simple determinado na base de datos NPD
L_{EPN}	Nivel efectivo de ruído percibido
L_{eq}	Nivel sonoro continuo equivalente
L_{max}	Valor máximo de $L(t)$ durante un evento
$L_{max,seg}$	Nivel máximo xerado por un segmento
L	Distancia perpendicular desde un punto de observación ata a traxectoria en terra
lg	Logaritmo en base 10
N	Número de segmentos ou subsegmentos
NAT	Número de eventos en que L_{max} excede un limiar específico
P	Parámetro de potencia na variable de NPD $L(P,d)$
P_{seg}	Parámetro de potencia relativo a un segmento concreto
q	Distancia desde o inicio do segmento ata o punto de aproximación máxima
R	Raio de xiro
S	Desviación estándar
s	Distancia ao longo da traxectoria en terra
$sRWY$	Lonxitude da pista
t	Tempo
t_e	Duración efectiva dun único evento sonoro

t_0	Tempo de referencia para o nivel de son integrado
V	Velocidade respecto á terra
V_{seg}	Velocidade respecto á terra de segmento equivalente
V_{ref}	Velocidade respecto á terra de referencia para a cal se definen os datos de NPD
x, y, z	Coordenadas locais
X', y', z'	Coordenadas da aeronave
$X_{\text{ARP}}, Y_{\text{ARP}}, Z_{\text{ARP}}$	Posición do punto de referencia do aeródromo en coordenadas xeográficas
z	Altura da aeronave por riba do plano de terra ou do punto de referencia do aeródromo
α	Parámetro utilizado para calcular a corrección para o segmento finito Δ_F
β	Ángulo de elevación da aeronave con respecto ao plano de terra
ε	Ángulo de empenamento da aeronave
γ	Ángulo de subida/baixada
φ	Ángulo de depresión (parámetro de directividade lateral)
λ	Lonxitude total do segmento
ψ	Ángulo entre a dirección do movemento da aeronave e a dirección cara ao observador
ξ	Rumbo da aeronave, medido no sentido das agullas do reloxo desde o norte magnético
$\Lambda(\beta, \ell)$	Atenuación lateral aire-terra
$\Lambda(\beta)$	Atenuación lateral aire-terra a longa distancia
$\Gamma(\ell)$	Factor de distancia de atenuación lateral
Δ	Cambio de valor dunha cantidade ou unha corrección (como se indica no texto)
Δ_F	Corrección de segmento finito
Δ_I	Corrección da instalación do motor
Δ_i	Ponderación para o tempo i durante o día, en dB
Δ_{rev}	Reversa
Δ_{SOR}	Corrección do punto de partida de rodaxe
Δ_V	Corrección da duración (velocidade)

Subíndices

1, 2	Subíndices que denotan os valores iniciais e finais dun intervalo ou segmento
E	Exposición
i	Índice da suma de categorías/tipos de aeronaves
j	Índice da suma da traxectoria en terra/subtraxectoria
k	Índice da suma de segmentos
max	Máximo
ref	Valor de referencia
seg	Valor específico do segmento
SOR	En relación co punto de partida de rodaxe
TO	Engalaxe

2.6.2. Marco de calidade.

Precisión dos valores de entrada.

Todos os valores de entrada que afecten o nivel de emisións dunha fonte, incluída a posición da fonte, se determinarán polo menos cunha precisión correspondente a unha incerteza de $\pm 2\text{dB(A)}$ no nivel de emisións da fonte (deixando invariables todos os demais parámetros).

Uso dos valores predeterminados.

Ao aplicar o método, os datos de entrada reflectirán o uso real. En xeral, non se utilizarán valores de entrada predeterminados nin estimados. En particular, as traxectorias de voo obteranse dos datos de radar sempre que existan e que sexan da calidade suficiente. Acéptanse estimacións e valores de entrada predeterminados, por exemplo, para rutas modelizadas utilizadas en lugar de traxectorias de voo obtidas por radar, se a recompilación de datos reais implica custos sumamente desproporcionados.

Calidade do software usado para os cálculos.

O software utilizado para realizar os cálculos deberá acreditar a conformidade cos métodos aquí descritos mediante unha certificación de resultados derivados dos ensaios realizados.

O software utilizado para o cálculo dos niveis de ruído no ambiente exterior deberá cumprir cos requirimentos establecidos na norma ISO 17534 no referente á calidade e garantía de calidade acústica e ás recomendacións xerais para os ensaios (test) e interface de control de calidade, así como as recomendacións para a aplicación do control de calidade na execución dos métodos descritos neste anexo polo software de acordo coa norma ISO 17534-1.

2.7. Ruído de aeronaves.

2.7.1. Obxectivo e ámbito de aplicación do documento.

Os mapas de isófonas ou curvas de nivel de ruído úsanse para indicar o alcance e a magnitude do impacto do ruído de aeronaves nos aeroportos, e este impacto indícase mediante os valores dun índice ou dunha métrica de ruído especificados. Unha isófona é unha liña ao longo da cal o valor do índice de ruído é constante. O valor de índice ten en conta todos os eventos de ruído de aeronaves individuais que ocorren durante algún período específico de tempo, que adoita medirse en días ou meses.

O ruído nos puntos sobre o terreo orixinado polo voo das aeronaves que entran e saen dun aeródromo próximo depende de moitos factores. Entre eles, os principais son os tipos de aeronave e o seu sistema motopropulsor; os procedementos de xestión da potencia, os *flaps* e a velocidade aerodinámica utilizados nos aeroplanos; as distancias desde os puntos afectados ata as diferentes traxectorias de voo, e as condicións meteorolóxicas e a topografía locais. As operacións aeroportuarias, polo xeral, inclúen diferentes tipos de avións, varios procedementos de voo e un rango de pesos operacionais.

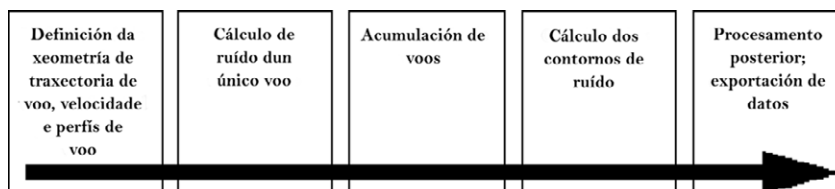
As curvas de nivel de ruído xéranse mediante o cálculo matemático dos valores do índice de ruído locais. Neste documento explícase detalladamente como calcular, nun punto de observación, os niveis de eventos de ruído de aeronaves individuais, cada un deles para o voo dunha aeronave específica ou un tipo de voo, dos cales posteriormente se calcula a media, ou ben se acumulan, para obter os valores do índice no dito punto. Os valores requiridos do índice de ruído obtéñense mediante a repetición dos cálculos segundo resulte necesario para diferentes movementos dos avións, procurando maximizar a eficiencia, excluindo eventos que non «son significativos desde o punto de vista do ruído» (é dicir, que non contribúen significativamente ao ruído total).

Cando as actividades que xeran ruídos asociadas con operacións aeroportuarias non contribúen substancialmente á exposición global da poboación ao ruído de aeronaves e ás curvas de nivel de ruído asociadas, estas poden excluírse. Estas actividades inclúen: helicópteros, rodaxe, proba de motores e uso de fontes de enerxía auxiliares. Isto non significa necesariamente que o seu impacto resulte insignificante e, cando se dan estas circunstancias, pódese realizar unha avaliación das fontes, segundo se describe nos números 2.7.21 e 2.7.22.

2.7.2. Esquema do documento.

O proceso de xeración das curvas de nivel de ruído ilústrase na figura 2.7.a. As isófonas obtéñense para varios propósitos e tenden a controlar os requisitos das fontes e o tratamento previo dos datos de entrada. As curvas de nivel de ruído que representan o impacto histórico do ruído deberanse obter dos rexistros reais das operacións das aeronaves —de movementos, pesos, traxectorias de voo medidas por radar, etc.—. As curvas utilizadas para a planificación de situacións dependen máis das previsións —de tráfico e traxectorias de voo e das características de rendemento e ruído de futuras aeronaves—.

Figura 2.7.a
Proceso de xeración das curvas de nivel de ruído



Independentemente da fonte dos datos de voo, cada movemento diferente da aeronave, chegada ou saída, defínese en termos da xeometría da traxectoria de voo e da emisión de ruído da aeronave a medida que segue a dita traxectoria (os movementos que son practicamente iguais en termos de ruído e traxectoria de voo inclúense mediante unha multiplicación sinxela). A emisión de ruído depende das características da aeronave —principalmente da potencia que xeran os seus motores—. A metodoloxía recomendada implica dividir a traxectoria de voo en segmentos. Na **seccións 2.7.3 a 2.7.6** descríbense os elementos da metodoloxía e explícase o principio de segmentación en que se basea; o nivel de ruído do evento observado é unha agregación das contribucións de todos os segmentos «significativos desde o punto de vista do ruído» da

traxectoria de voo, cada un dos cales se pode calcular con independencia do resto. Nas **seccións 2.7.3 a 2.7.6** tamén se describen os requisitos dos datos de entrada para calcular un conxunto de isófonas de ruído. As especificacións detalladas dos datos operativos necesarios descríbense no apéndice A.

A forma en que se calculan os segmentos da traxectoria de voo a partir dos datos de entrada procesados previamente descríbese nas **seccións 2.7.7 a 2.7.13**. Isto implica a aplicación de análise do rendemento (*performance*) do voo da aeronave e as ecuacións para iso detállanse no **apéndice B**. As traxectorias de voo están suxeitas a unha variabilidade importante —as aeronaves que seguen calquera ruta dispérsanse en abano debido aos efectos das diferenzas nas condicións atmosféricas, o peso das aeronaves e os procedementos de funcionamento, as limitacións de control do tráfico aéreo, etc. Isto tense en conta mediante a descrición estatística de cada traxectoria de voo —como unha traxectoria central ou «principal» acompañada dun conxunto de traxectorias dispersas—. Isto tamén se explica nas **seccións 2.7.7 a 2.7.13** con referencia á información adicional que consta no **apéndice C**.

Nas **seccións 2.7.14 a 2.7.19** descríbense os pasos que hai que seguir para calcular o nivel de ruído dun único evento —o ruído xerado nun punto sobre o terreo polo movemento dunha aeronave—. No **apéndice D** trátase a realización de novos cálculos dos datos de NPD para condicións distintas das de referencia. No **apéndice E** explícase a fonte de dipolo acústico utilizada no modelo para definir a radiación de son desde os segmentos da traxectoria de voo de lonxitude finita.

As aplicacións das relacións de modelización descritas nos capítulos 3 e 4 requiren, á parte das traxectorias de voo pertinentes, datos apropiados sobre o ruído e o rendemento da aeronave en cuestión.

O cálculo fundamental consiste en determinar o nivel de ruído do evento para un único movemento da aeronave nun único punto de observación. Isto débese repetir para todos os movementos da aeronave no conxunto de puntos establecido, abranguendo o alcance esperado das curvas de nivel de ruído requiridas. En cada punto agréganse os niveis do evento ou calcúlase unha media ata acadar un «nivel acumulativo» ou o valor do índice de ruído. Esta parte do proceso descríbese nas **seccións 2.7.20 e 2.7.23 a 2.7.25**.

Nas **seccións 2.7.26 a 2.7.28** resúmense as opcións e os requisitos para vincular as curvas de nivel de ruído aos valores do índice de ruído obtidos para o conxunto de puntos. Tamén se ofrece orientación verbo da xeración de curvas de nivel e do procesamento posterior.

2.7.3. Concepto de segmentación.

Para unha aeronave específica, a base de datos contén relacións de ruído-potencia-distancia (NPD). Estas definen, para un voo recto uniforme a unha velocidade de referencia en condicións atmosféricas de referencia e nunha configuración de voo específica, os niveis dos eventos, tanto os máximos como os integrados no tempo, directamente debaixo da aeronave⁶ en función da distancia. Para os efectos de modelización do ruído, toda a potencia de propulsión significativa se representa mediante un parámetro de potencia relacionado co ruído; o parámetro que se adoita utilizar é o pulo neto corrixido. Os niveis de ruído do evento iniciais determinados a partir da base de datos axústanse para representar, en primeiro lugar, as diferenzas entre as condicións atmosféricas reais (é dicir, modelizadas) e as de referencia e (no caso dos niveis de exposición ao ruído) a velocidade da aeronave e, en segundo lugar, para os puntos do receptor que non están directamente debaixo da aeronave, as diferenzas entre o ruído irradiado cara abaixo e lateralmente. Esta última diferenza débese á directividade lateral (efectos de instalación do motor) e á atenuación lateral. Non obstante, os niveis de ruído do evento axustados continúan referíndose só ao ruído total da aeronave en voo uniforme.

A segmentación é o proceso mediante o cal o modelo de cálculo de curvas de nivel de ruído recomendado adapta a relación de NPD da traxectoria infinita e os datos laterais para calcular o ruído que chega a un receptor desde unha traxectoria de voo non uniforme, é dicir, unha ao longo da cal varía a configuración do voo da aeronave. Para os efectos de calcular o nivel de ruído do evento orixinado polo movemento dunha aeronave, a traxectoria do voo represéntase mediante un conxunto de segmentos rectilíneos continuos, cada un dos cales pode considerarse como unha parte finita dunha traxectoria infinita para as cales se coñecen a relación de NPD e os axustes laterais. O nivel máximo do evento é sinxelamente o máis alto dos valores dos segmentos individuais. O nivel integrado no tempo de ruído total calcúlase sumando o ruído recibido desde

⁶ En realidade, debaixo da aeronave en perpendicular ao eixe aerodinámico da á e á dirección do voo; considérase en vertical por debaixo da aeronave en voo sen viraxe (é dicir, sen empenamento).

un número suficiente de segmentos, é dicir, os que realizan unha contribución significativa ao ruído total do evento.

O método para estimar cando contribúe o ruído dun segmento finito ao nivel do ruído total do evento integrado é puramente empírico. A fracción da enerxía F —o ruído do segmento expresado como unha proporción do ruído da traxectoria infinita total— descríbese mediante unha expresión relativamente sinxela baseada na directividade lonxitudinal do ruído da aeronave e a «vista» do segmento desde o receptor. Unha razón pola cal un método empírico sinxelo resulta conveniente é que, por norma xeral, a maior parte do ruído procede do segmento adxacente que acostuma estar máis próximo —o punto de aproximación máxima (CPA) ao receptor encóntrase dentro do segmento (e non en ningún dos seus extremos)—. Isto significa que os cálculos do ruído de segmentos non adxacentes se poden aproximar cada vez máis a medida que se afastan do receptor sen comprometer a precisión significativamente.

2.7.4. Traxectorias do voo: pistas e perfís.

No contexto de modelización, unha ruta de voo (ou traxectoria) é unha descrición completa do movemento da aeronave en espazo e tempo⁷. Xunto coa tracción propulsiva (ou outro parámetro de potencia relacionado co ruído), constitúe a información necesaria para calcular o ruído xerado. A traxectoria en terra é a proxección vertical da traxectoria do voo a nivel do terreo. Combinase co perfil de voo vertical para crear unha traxectoria de voo en 3D. Para a modelización da segmentación é necesario describir a traxectoria do voo de cada movemento diferente da aeronave mediante unha serie de segmentos rectos contiguos. A forma en que se realiza a segmentación depende da necesidade de equilibrar a precisión e a eficacia —é necesario aproximar o suficiente a traxectoria do voo curvada real ao mesmo tempo que se minimizan os límites de cálculo e os requisitos de datos—. É necesario definir cada segmento mediante coordenadas xeométricas dos seus puntos finais e os parámetros da velocidade asociada e a potencia do motor da aeronave (dos cales depende a emisión de ruído). As traxectorias dos voos e a potencia do motor pódense determinar de varias formas; a primeira delas implica a) a síntese dunha serie de pasos procedementais e b) a análise dos datos do perfil de voo medido.

Para a síntese da traxectoria do voo (a) é preciso coñecer (ou realizar hipóteses de) as traxectorias en terra e as súas dispersións laterais, os procedementos de xestión da velocidade, os *flaps* e o pulo, a elevación do aeroporto e a temperatura do vento e do aire. As ecuacións para calcular o perfil de voo a partir dos parámetros aerodinámicos e de propulsión necesarios facilitáanse no **apéndice B**. Cada ecuación contén coeficientes (ou constantes) que se basean en datos empíricos para cada tipo de aeronave específico. As ecuacións de rendemento aerodinámico do **apéndice B** permiten considerar calquera combinación razoable do procedemento do voo e do peso operacional da aeronave, incluídas as operacións dos diferentes pesos brutos de engalaxe.

A análise dos datos medidos (b), por exemplo, a partir dos rexistros de datos de voos, radares ou outros equipos de seguimento da aeronave implica «enxeñaría inversa», efectivamente unha inversión do proceso de síntese (a). En lugar de calcular os estados da aeronave e do sistema motopropulsor nos extremos dos segmentos do voo mediante a integración dos efectos das forzas de pulo e aerodinámicas que actúan sobre a fuselaxe, as forzas calcúlanse mediante a diferenciación dos cambios de altura e velocidade da fuselaxe. Os procedementos para procesar a información da traxectoria do voo descríbense na sección 2.7.12.

Nunha última aplicación do modelizado do ruído, cada voo individual, en teoría, poderíase representar de maneira independente; desta forma, garantiríase unha contabilización precisa da dispersión espacial das traxectorias de voos, un aspecto que pode resultar moi importante. Non obstante, para manter o tempo de utilización do ordenador e de preparación dos datos dentro duns límites razoables, é unha práctica habitual representar o aliñamento da traxectoria do voo mediante un número reducido de «subtraxectorias» desprazadas lateralmente (a dispersión vertical normalmente represéntase satisfactoriamente mediante o cálculo dos efectos das masas variables das aeronaves nos perfís verticais).

⁷ O tempo contabilízase mediante a velocidade da aeronave.

2.7.5. Rendemento e ruído das aeronaves.

A base de datos ANP tratada no apéndice I abrangue a maioría dos tipos de aeronaves existentes. Se se trata de tipos ou variantes de aeronaves cuxos datos non se facilitan actualmente, pódense representar mediante os datos doutras aeronaves que adoitan ser similares.

A base de datos ANP inclúe «pasos procedementais» predeterminados para permitir a creación de perfis de voos polo menos para un procedemento común de saída de redución de ruídos. As entradas máis recentes da base de datos abranguen dous procedementos distintos de saída de redución de ruídos.

2.7.6. Operacións do aeroporto e das aeronaves.

Os datos específicos segundo o caso a partir dos cales se calculan as curvas de nivel de ruído para un escenario particular de aeroporto comprenden o seguinte:

Datos xerais dos aeroportos.

- O punto de referencia do aeródromo (só para situar o aeródromo nas coordenadas xeográficas apropiadas). O punto de referencia defínese como a orixe do sistema local de coordenadas cartesianas utilizado no procedemento de cálculo.
- A altitude de referencia do aeródromo (= altitude do punto de referencia do aeródromo). Trátase da altitude do plano de terra nominal con respecto ao cal se determinan as curvas de nivel de ruído, en ausencia de correccións topográficas.
- Os parámetros meteorolóxicos medios no punto de referencia do aeródromo ou próximos ao dito punto (temperatura, humidade relativa, velocidade media do vento e dirección do vento).

Datos da pista.

Para cada pista:

- Designación da pista
- Punto de referencia da pista (centro da pista expresado en coordenadas locais)
- Gradiente medio, dirección e lonxitude da pista
- Localización do punto de partida de rodaxe e limiar de aterraxe⁸.

Datos da traxectoria en terra.

As traxectorias en terra da aeronave débense describir mediante unha serie de coordenadas no plano de terra (horizontal). A fonte de datos das traxectorias en terra depende de que os datos de radar pertinentes estean dispoñibles ou non. Se o están, é necesario establecer unha traxectoria principal fiable e as subtraxectorias asociadas adecuadas (dispersas) mediante análises estatísticas dos datos. En cambio, se non se encontran dispoñibles, as traxectorias principais adoitan crearse a partir de información procedemental apropiada, por exemplo, mediante a utilización de procedementos de saída normalizados por instrumentos que constan nas publicacións de información aeronáutica. Esta descrición convencional inclúe a seguinte información:

- Designación da pista desde a cal se orixina a traxectoria
- Descrición da orixe da traxectoria (punto de partida de rodaxe e limiar de aterraxe)
- Lonxitude dos segmentos (para xiros, raios e cambios de dirección)

⁸ Os limiares desprazados pódense ter en conta mediante a definición de pistas adicionais.

Esta información constitúe o mínimo necesario para definir a traxectoria principal. Non obstante, os niveis medios de ruído calculados sobre o suposto de que a aeronave segue estritamente as rutas nominais poden ser responsables de erros localizados de varios decibeles. Por tanto, débese representar a dispersión lateral e precisase a seguinte información adicional:

- Largura da banda de dispersión (ou outra estatística de dispersión) en cada extremo do segmento
- Número de subtraxectorias
- Distribución de movementos perpendiculares á traxectoria principal

Datos do tráfico aéreo.

Os datos do tráfico aéreo son:

- o período de tempo cuberto polos datos, e
- o número de movementos (chegadas ou saídas) de cada tipo de aeronave en cada traxectoria de voo, subdividido por 1) o período do día, segundo proceda, apropiado aos descritores de ruído específicos, 2) para saídas, pesos operativos ou lonxitudes das etapas, e 3) procedementos operativos, se procede.

A maioría dos descritores de ruído requiren que os eventos (é dicir, os movementos da aeronave) se definan como valores diarios medios durante os períodos específicos do día (por exemplo, o día, a tarde e a noite); véxanse as seccións **2.7.23 a 2.7.25**.

Datos topográficos.

O terreo no contorno da maioría dos aeroportos é relativamente chaira. Non obstante, non sempre é o caso, e algunhas veces pode resultar necesario ter en conta as variacións da elevación do terreo en relación coa elevación de referencia do aeroporto. O efecto da elevación do terreo pode resultar particularmente importante nas proximidades das rutas de aproximación, onde a aeronave opera a altitudes relativamente baixas.

Os datos da elevación do terreo adoitan facilitarse como un conxunto de coordenadas (x, y, z) para unha malla rectangular dun paso de malla determinado. Non obstante, é probable que os parámetros da malla de elevación difiran dos da malla utilizada para calcular o ruído. De ser o caso, pódese utilizar unha interpolación lineal para calcular as coordenadas z apropiadas á malla de cálculo.

A análise integral dos efectos do terreo con desniveis marcados na propagación sonora é complexo e está fóra do alcance deste método. A irregularidade moderada pódese ter en conta supondo un terreo «pseudonivel»; é dicir, simplemente aumentando ou reducindo o nivel do plano de terra á elevación do terreo local (en relación co plano de terra de referencia) en cada punto do receptor (véxase a sección 2.7.4).

Condições de referencia.

Os datos internacionais de rendemento e ruído da aeronave (ANP) normalízanse para condicións de referencia estándar que se usan amplamente para estudos de ruído en aeroportos (véxase o **apéndice D**).

Condições de referencia para os datos de NPD.

- 1) Presión atmosférica: 101,325 kPa (1 013,25 mb)
- 2) Absorción atmosférica: parámetros de atenuación enumerados no **cadro D-1 do apéndice D**
- 3) Precipitacións: ningunha
- 4) Velocidade do vento: menos de 8 m/s (15 nós)
- 5) Velocidade respecto á terra: 160 nós
- 6) Terreo local: superficie chaira e suave sen estruturas grandes nin outros obxectos reflectantes dentro dun raio de varios quilómetros das traxectorias en terra das aeronaves.

As medidas estandarizadas do son da aeronave realízanse a 1,2 m por riba da superficie do terreo. Non obstante, non é necesario prestar especial atención a isto xa que, para efectos de modelización, se pode asumir que os niveis dos eventos son relativamente insensibles á altura do receptor⁹.

As comparacións entre os niveis de ruído do aeroporto calculados e medidos indican que se pode supor que os datos de NPD son aplicables cando as condicións medias da superficie próxima presentan as seguintes características:

- Temperatura do aire inferior a 30 °C
- Produto da temperatura do aire (°C), e humidade relativa, (porcentaxe) superior a 500
- Velocidade do vento inferior a 8 metros por segundo (15 nós)

Estímase que estas características engloban as condicións encontradas na maioría dos principais aeroportos do mundo. No **apéndice D** ofrécese un método para converter os datos de NPD en condicións medias locais que están fóra deste rango, pero en casos extremos súxírese consultar cos fabricantes correspondentes da aeronave.

Condicións de referencia para os datos do motor e a aerodinámica da aeronave.

- 1) Elevación da pista: nivel medio do mar
- 2) Temperatura do aire: 15 °C
- 3) Peso bruto en engalaxe: como se define en función da lonxitude da etapa na base de datos de ANP
- 4) Peso bruto en aterraxe: 90 % do peso bruto máximo en aterraxe
- 5) Motores con pulo: todos

A pesar de que os datos do motor e aerodinámicos de ANP se basean nestas condicións, pódense usar como tabulados estes para elevacións da pista distintas das de referencia e a media de temperaturas medias do aire nos Estados da CEAC sen afectar significativamente a precisión das curvas dos niveis medios de ruído acumulados (véxase o **apéndice B**).

A base de datos de ANP tabula os datos aerodinámicos para os pesos brutos de engalaxe e aterraxe indicados nos puntos 3 e 4 anteriores. A pesar de que, para cálculos do ruído total acumulado, os datos aerodinámicos se deben axustar para outros pesos brutos, o cálculo dos perfís do voo en engalaxe e ascenso, usando os procedementos descritos no **apéndice B**, débese basear nos pesos brutos da engalaxe operativa apropiados.

2.7.7. Descrición da traxectoria do voo.

O modelo de ruído require que cada movemento diferente da aeronave se describa mediante a súa traxectoria de voo tridimensional e a potencia variable do motor e a súa velocidade. Como norma, un movemento modelizado representa un subconxunto do tráfico total do aeroporto, por exemplo, un número de movementos idénticos (asumidos como tales), co mesmo tipo de aeronave, peso e procedemento operativo, sobre unha única traxectoria en terra. A dita traxectoria pode ser unha de varias «subtraxectorias» dispersas utilizadas para modelizar o que realmente é unha dispersión de traxectorias seguindo unha ruta designada. As dispersións da traxectoria en terra, os perfís verticais e os parámetros operativos da aeronave determínanse a partir dos datos do escenario de entrada, xunto cos datos da aeronave extraídos da base de datos de ANP.

Os datos de ruído-potencia-distancia (na base de datos de ANP) definen o ruído procedente dunha aeronave que percorre traxectorias de voo horizontais idealizadas de lonxitude infinita a unha potencia e velocidade constantes. Para adaptar estes datos ás traxectorias de voo da área terminal caracterizadas por cambios

⁹ Ás veces pídense niveis calculados a 4 m ou máis. A comparación das medidas a 1,2 m e a 10 m e o cálculo teórico dos efectos de chan revelan que as variacións do nivel de exposición ao ruído con ponderación A son relativamente insensibles á altura do receptor. As variacións adoitan ser inferiores a un decibel, salvo se o ángulo máximo da incidencia de son é inferior a 10° e se o espectro ponderado A no receptor ten o seu nivel máximo dentro do rango comprendido entre 200 Hz e 500 Hz. A dita variabilidade dominada por unha baixa frecuencia pódese producir, por exemplo, a longas distancias para motores cunha relación de derivación baixa e para motores de hélice con tons de frecuencia baixa discretos.

frecuentes de potencia e velocidade, cada traxectoria divídese en segmentos rectilíneos finitos; as contribucións de ruído de cada un deles súmanse posteriormente na posición do observador.

2.7.8. Relacións entre a traxectoria do voo e a configuración do voo.

A traxectoria do voo tridimensional do movemento dunha aeronave determina os aspectos xeométricos da radiación e a propagación do son entre a aeronave e o observador. Cun peso particular e en condicións atmosféricas particulares, a traxectoria do voo réxese completamente mediante a secuencia de potencia, *flaps* e cambios de altitude aplicados polo piloto (ou sistema de xestión automática do voo), co fin de seguir rutas e manter as alturas e velocidades especificadas polo control de tránsito aéreo (CTA), en virtude dos procedementos operativos estándar do operador de aeronaves. Estas instrucións e accións dividen a traxectoria do voo en distintas fases que conforman os segmentos naturais. No plano horizontal, implican tramos rectos, especificados como unha distancia ata o próximo xiro e os próximos xiros, definida polo raio e o cambio de rumbo. No plano vertical, os segmentos defínense mediante o tempo ou a distancia considerados para conseguir os cambios necesarios de velocidade de avance ou altura nos axustes de *flaps* e potencia especificados. A miúdo, as coordenadas verticais correspondentes denomínanse *puntos de perfil*.

Para a modelización do ruído, xérase información sobre a traxectoria do voo mediante a síntese dun conxunto de pasos procedementais (é dicir, os que segue o piloto) ou mediante a análise dos datos dos radares —medidas físicas das traxectorias de voo reais no aire—. Con independencia do método que se utilice, as formas horizontais e verticais da traxectoria de voo redúcense a formas segmentadas. A súa forma horizontal (é dicir, a súa proxección bidireccional sobre o chan) é a traxectoria en terra definida polo itinerario entrante e saínte. A súa forma vertical, obtida mediante os puntos de perfil, e os parámetros de voo asociados de velocidade, ángulo de empenamento e regaxe da potencia, en conxunto definen o perfil do voo que depende do procedemento do voo que adoita prescribir o fabricante da aeronave ou o operador. A traxectoria do voo créase mediante a fusión do perfil do voo bidimensional coa traxectoria en terra bidimensional para formar unha secuencia de segmentos da traxectoria do voo tridimensional.

Cabe recordar que, para un conxunto de pasos procedementais determinado, o perfil depende da traxectoria en terra; por exemplo, co mesmo pulo e á mesma velocidade, a velocidade de ascenso é inferior, pola súa vez, que o voo en liña recta. Aínda que neste documento se explica como ter en conta esta dependencia, hai que recoñecer que iso suporía, por norma xeral, unha excesiva sobrecarga de cálculo e os usuarios poden preferir asumir que, para efectos de modelización do ruído, o perfil do voo e a traxectoria en terra poden tratarse como entidades independentes, é dicir, que o perfil de ascenso non se ve afectado por ningún xiro. Non obstante, é importante determinar os cambios do ángulo de empenamento que os xiros necesitan, porque isto inflúe significativamente na direccionalidade da emisión de son.

O ruído recibido desde un segmento da traxectoria do voo depende da xeometría do segmento en relación co observador e a configuración do voo da aeronave. Pero estes parámetros están interrelacionados; de feito, un cambio nun causa un cambio no outro, e é necesario garantir que, en todos os puntos da traxectoria, a configuración da aeronave está en consonancia co movemento ao longo da traxectoria.

Na síntese da traxectoria dun voo, é dicir, ao crear a traxectoria dun voo a partir dun conxunto de «pasos procedementais» que describen as seleccións que o piloto realiza da potencia do motor, o ángulo dos *flaps* e a velocidade vertical ou de aceleración, o que hai que calcular é o movemento. Na análise da traxectoria dun voo dáse o caso contrario: é necesario calcular a potencia do motor a partir do movemento observado da aeronave, segundo os datos do radar ou, nalgúns casos, en estudos especiais, a partir dos datos do rexistrador do voo da aeronave (aínda que no último caso, a potencia do motor adoita formar parte dos datos). En ambos os casos, as coordenadas e os parámetros do voo en todos os puntos finais do segmento deben introducirse no cálculo do ruído.

No **apéndice B** preséntanse as ecuacións que relacionan as forzas que actúan sobre unha aeronave e o seu movemento, e explícase como se resolven para definir as propiedades dos segmentos que conforman as traxectorias dos voos. Os diferentes tipos de segmentos (e as seccións do **apéndice B** en que se tratan) son *o pulo en terra ao engalar* (B5), *o ascenso a unha velocidade constante* (B6), *a aceleración en ascenso e a retracción dos flaps* (B8), *a aceleración en ascenso despois da retracción dos flaps* (B9), *o descenso e a deceleración* (B10) e *aproximación final de aterraxe* (B11).

Inevitablemente, a modelización práctica implica graos variables de simplificación —o requisito para iso depende da natureza da aplicación do método, da importancia dos resultados e dos recursos dispoñibles—. Un suposto simplificado xeral, incluso nas aplicacións máis elaboradas, é que, ao calcular a dispersión da traxectoria

do voo, os perfís e as configuracións do voo en todas as subtraxectorias son os mesmos que os da traxectoria principal. Como se deben utilizar polo menos 6 subtraxectorias (véxase a sección 2.7.11), isto reduce os cálculos masivos que implican unha penalización sumamente pequena en termos de confianza.

2.7.9. Fontes dos datos das traxectorias de voos.

Datos de radares.

Aínda que os rexistradores de datos de voos de aeronaves poden xerar datos de moi alta calidade, é difícil obtelos para efectos de modelización do ruído, polo que os datos dos radares se poden considerar como a fonte de información de máis fácil acceso sobre as traxectorias de voo reais no aire nos aeroportos¹⁰. Tendo en conta que adoitan encontrarse dispoñibles nos sistemas de supervisión da traxectoria do voo e do ruído nos aeroportos, actualmente úsanse cada vez máis para efectos de modelización do ruído.

O radar secundario de vixilancia presenta a traxectoria de voo dunha aeronave como unha secuencia de coordenadas de posición a intervalos iguais ao período de rotación do escáner de radar, normalmente ao redor de 4 segundos. A posición da aeronave con respecto ao chan determínase en coordenadas polares —distancia e acimut— a partir dos sinais de retorno de radar reflectidos (aínda que o sistema de control adoita transformalas en coordenadas cartesianas); a súa altura¹¹ mídese por medio do altímetro propio do avión e transmítese ao ordenador de control do tráfico aéreo mediante un transpondedor de radar. Non obstante, os erros de posición inherentes pola interferencia de radiofrecuencias e a resolución de datos limitados resultan importantes (a pesar de que non ten ningunha consecuencia para os fins previstos de control do tráfico aéreo). Polo tanto, se é necesario coñecer a traxectoria do voo do movemento dunha aeronave específica, é preciso suavizar os datos mediante unha técnica apropiada para o axuste de curvas. Non obstante, para efectos de modelización do ruído, acostuma ser necesario realizar unha descrición estatística da dispersión das traxectorias dos voos; por exemplo, para todos os movementos dunha ruta ou só para os dun tipo de aeronave específica. Neste ámbito, os erros de medicións asociados coas estatísticas correspondentes pódense reducir ata ser irrelevantes mediante procesos de determinación da media.

Etapas do procedemento.

En moitos casos, non é posible modelizar as traxectorias dos voos en función dos datos do radar, porque non se encontran dispoñibles os recursos necesarios ou ben porque se trata dun futuro escenario para o cal non se encontran dispoñibles os datos de radar que resultan pertinentes.

Na falta de datos de radar, ou cando o seu uso resulta inapropiado, é necesario calcular as traxectorias dos voos conforme o material guía operativo, por exemplo as instrucións que se dan ao persoal do voo nas publicacións de información aeronáutica (AIP) e en manuais de funcionamento da aeronave, o que aquí se denomina etapas do procedemento. Cando proceda, as autoridades de control do tráfico aéreo e os operadores da aeronave proporcionarán asesoramento verbo de como interpretar o dito material.

2.7.10. Sistemas de coordenadas.

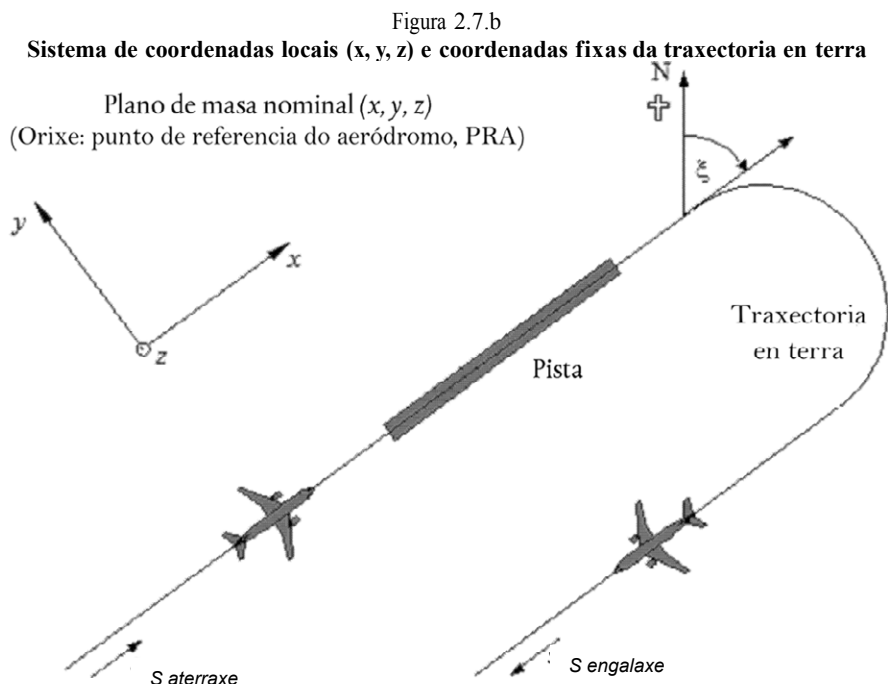
Sistema de coordenadas local.

O sistema de coordenadas locais (x, y, z) é o cartesiano e ten a súa orixe $(0,0,0)$ no punto de referencia do aeródromo $(X_{ARP}, Y_{ARP}, Z_{ARP})$, onde Z_{ARP} é a altitude de referencia do aeroporto e $z = 0$ define o plano do terreo nominal sobre o cal se adoitan calcular as curvas de nivel de ruído. O rumbo da aeronave ξ no plano xy mídese no sentido das agullas do reloxo a partir do norte magnético (véxase a **figura 2.7.b**). Todas as localizacións do observador, a malla de cálculo básica e os puntos se expresan en coordenadas locais¹².

¹⁰ Os rexistradores de datos de voos de aeronaves ofrecen datos de operación integrais. Non obstante, no son de fácil acceso e a súa dispoñibilidade resulta custosa; por tanto, o seu uso para efectos de modelización do ruído acostuma restrinxirse a estudos para o desenvolvemento de modelos e proxectos especiais.

¹¹ Polo xeral, isto mídese como altitude sobre MSL (é dicir, en relación con 1.013 mB) e corríxese con respecto á elevación do aeroporto mediante o sistema de supervisión do aeroporto.

¹² Normalmente, os eixes das coordenadas locais son paralelos ao eixe do mapa en que se debuxan as isófonas. Non obstante, ás veces resulta útil elixir o eixe x paralelo a unha pista co fin de obter curvas simétricas sen utilizar unha malla de cálculo fina (véxanse as **seccións 2.7.26 a 2.7.28**).



Sistema de coordenadas fixas da traxectoria en terra.

Esta coordenada é específica de cada traxectoria en terra e representa a distancia s medida ao longo da traxectoria na dirección do voo. Nas traxectorias de engalaxe, s mídese desde o inicio da rodada e, no caso das traxectorias de aterraxe, desde o limiar de aterraxe. Por tanto, s resulta negativo nas seguintes zonas:

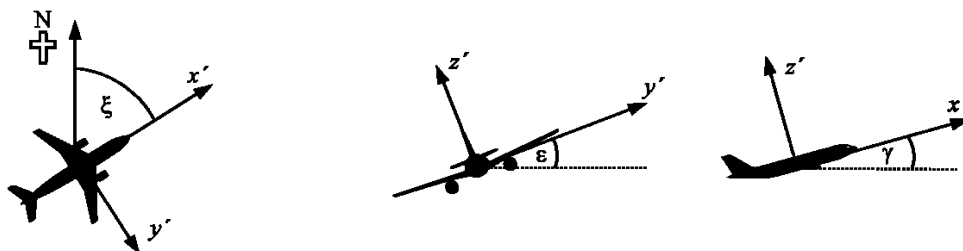
- detrás do punto de partida de rodaxe nas saídas;
- antes de cruzar o limiar de aterraxe en pista para as chegadas.

Os parámetros operativos do voo, tales como a altura, a velocidade e a regraxe da potencia, exprésanse en función de s .

Sistema de coordenadas do avión.

O sistema de coordenadas cartesianas fixas do avión (x', y', z') ten a súa orixe na localización real do avión. O sistema axial defínese mediante o ángulo de subida γ , a dirección do voo ξ e o ángulo de empenamento ε (véxase a **figura 2.7.c**).

Figura 2.7.c
Sistema de coordenadas fixas do avión (x', y', z')



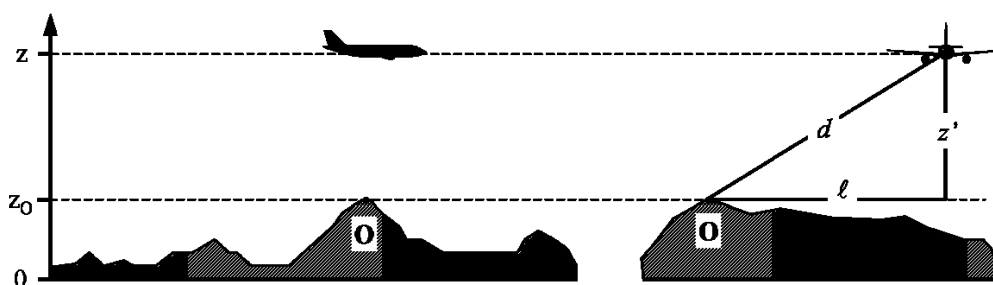
Consideración da topografía.

Nos casos en que é necesario ter en conta a topografía (véxase a sección 2.7.6), cómpre substituír a coordenada da altura do avión z por $z' = z - z_0$ (onde z_0 a coordenada z é a localización do observador O) ao calcular a distancia de propagación d . A xeometría entre o avión e o observador ilústrase na **figura 2.7.d**. Para consultar as definicións de d e ℓ , véxanse as seccións 2.7.14 a 2.7.19¹³.

Figura 2.7.d

Elevación do terreo á (esquerda) e no lateral (dereito) da traxectoria en terra

(O plano de terra nominal $z = 0$ pasa a través do punto de referencia do aeródromo. O é a localización do observador)



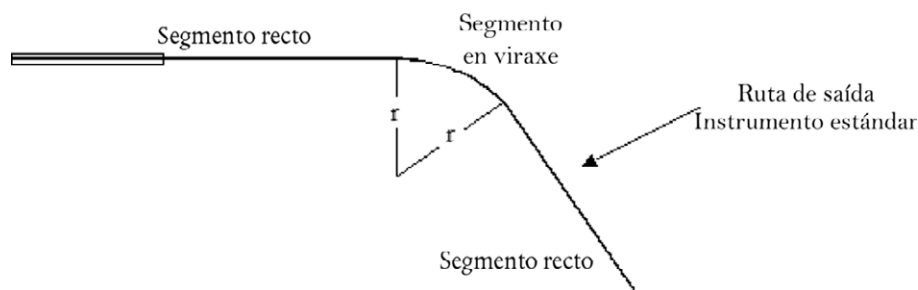
2.7.11. Traxectorias en terra.

Traxectorias principais.

A traxectoria principal define o centro da banda de dispersión das traxectorias que segue o avión cunha ruta. Para efectos de modelización do ruído do avión, defínese i) mediante datos operativos prescritivos, como as instrucións que se dan aos pilotos nas publicacións de información aeronáutica ou ii) mediante análises estatísticas dos datos de radar, tal como se explica na sección 2.7.9, cando se encontren dispoñibles e resulten convenientes para satisfacer as necesidades do estudo de modelización. Crear a traxectoria a partir de instrucións operativas acostuma ser unha tarefa bastante sinxela, xa que estas prescriben unha secuencia de tramos rectos —definidos pola lonxitude e o rumbo— ou arcos circulares definidos pola velocidade de viraxe e o cambio de rumbo; véxase a **figura 2.7.e** para consultar unha ilustración.

Figura 2.7.e

Xeometría da traxectoria en terra en termos de viraxes e segmentos rectos



¹³ En terreo desnivelado pode ser posible que o observador se sitúe por riba da aeronave. Neste caso, para calcular a propagación sonora, considérase z' (e o correspondente ángulo de elevación β – véxase capítulo 4) igual a cero.

Adequar a traxectoria principal aos datos de radar é unha tarefa máis complexa, en primeiro lugar porque se fan viraxes reais a unha velocidade variable e, en segundo lugar, porque a súa liña se escurece pola dispersión dos datos. Como ben se explicou, aínda non se desenvolveron procedementos formalizados e é unha práctica habitual asociar segmentos, xa sexan rectos ou curvados, coas posicións medias calculadas a partir dos cortes transversais das liñas de seguimento por radar a intervalos ao longo da ruta. É posible que os algoritmos informáticos necesarios para executar esta tarefa se desenvolvan nun futuro, pero, polo momento, compete ao modelista decidir cal é a mellor maneira de utilizar os datos dispoñibles. Un factor importante é que a velocidade do avión e o raio de viraxe indican o ángulo de empenamento e, como se observará na sección 2.7.19, as asimetrías da radiación sonora ao redor da traxectoria do voo inflúen no ruído en terra, así como a posición da traxectoria do voo.

En teoría, a transición perfecta desde o voo recto á viraxe de raio fixo precisaría dunha aplicación instantánea do ángulo de empenamento ϵ , que fisicamente resulta imposible. En realidade, o ángulo de empenamento tarda un tempo determinado en acadar o valor requirido para manter unha velocidade específica e o raio de viraxe r , durante o cal o raio de viraxe se axusta de infinito a r . Para os efectos de modelización, pode ignorarse a transición do raio e suporse que o ángulo de empenamento aumenta constantemente desde cero (ou outro valor inicial) ata ϵ ao inicio da viraxe e ser o próximo valor de ϵ ao final da viraxe¹⁴.

Dispersión da traxectoria.

Cando sexa posible, as definicións da dispersión lateral e das subtraxectorias representativas basearanse en experiencias pasadas pertinentes do aeroporto obxecto de estudo; normalmente, a través da análise das mostras de datos de radar. O primeiro paso consiste en agrupar os datos por ruta. As vías de saída caracterízanse por unha dispersión lateral substancial que se debe ter en conta para realizar unha modelización precisa. As rutas de chegada únense nunha banda moi estreita sobre a ruta de aproximación final e acostuma ser suficiente representar todas as chegadas mediante unha única traxectoria. Non obstante, se as dispersións na aterraxe son amplas, é posible que sexa preciso representalas mediante subtraxectorias da mesma forma que as rutas de saída.

É unha práctica común tratar os datos (información) para unha única ruta como unha mostra dunha única poboación (estatística); é dicir, realizar a representación mediante unha traxectoria principal e un conxunto de subtraxectorias dispersas. Non obstante, se a inspección indica que os datos das diferentes categorías de avións ou operacións difiren significativamente (por exemplo, en caso de que un avión grande e pequeno teñan raios de viraxe bastante diferentes), sería conveniente realizar outra subdivisión dos datos en diferentes bandas de dispersión. Para cada banda, as dispersións da traxectoria lateral determinanse en función da distancia a partir da orixe; daquela, os movementos distribúense entre unha traxectoria principal e un número apropiado de subtraxectorias dispersas en función das estatísticas de distribución.

Tendo en conta que adoita ser conveniente ignorar os efectos da dispersión da traxectoria, ante a ausencia de datos de bandas de dispersión medidos, débese definir unha dispersión lateral á traxectoria principal e perpendicular a ela mediante unha función de distribución convencional. Os valores calculados dos índices de ruído non son particularmente sensibles á forma precisa da distribución lateral: a distribución normal (de Gauss) ofrece unha descrición adecuada de bandas de dispersión medidas por radar.

Normalmente úsase unha aproximación discreta de sete puntos (é dicir, que representa a dispersión lateral mediante seis subtraxectorias coa mesma separación ao redor da traxectoria principal). A separación das subtraxectorias depende da desviación estándar da función de dispersión lateral.

No caso das traxectorias cunha distribución normal e unha desviación estándar S , o 98,8 % das traxectorias encóntrase dentro dun corredor con límites situado a $\pm 2,5 \times S$. No **cadro 2.7.a** indícase a separación das seis subtraxectorias e a porcentaxe dos movementos totais asignado a cada unha. No **apéndice C** ofrécense os valores para os outros números de subtraxectorias.

¹⁴ Compete ao usuario decidir cal é a mellor maneira de aplicar esta cuestión, xa que iso dependerá da forma en que se definan os raios de viraxe. Cando o punto de partida é unha secuencia de tramos circulares ou rectos, unha opción relativamente sinxela é inserir os segmentos de transición do ángulo de empenamento ao inicio da viraxe e ao final, onde o avión se move a unha velocidade constante (por exemplo, expresada en $^\circ/\text{m}$ o $^\circ/\text{s}$).

Cadro 2.7.a

Porcentaxes de movementos para unha función de distribución normal cunha desviación estándar S para sete subtraxectorias (a traxectoria principal é a subtraxectoria 1)

Número de subtraxectoria	Localización da subtraxectoria	Porcentaxe de movementos na subtraxectoria
7	$-2,14 \times S$	3 %
5	$-1,43 \times S$	11 %
3	$-0,71 \times S$	22 %
1	0	28 %
2	$0,71 \times S$	22 %
4	$1,43 \times S$	11 %
6	$2,14 \times S$	3 %

A desviación estándar S é unha función da coordenada s ao longo da traxectoria principal. Pódese especificar —xunto coa descrición da traxectoria principal— na ficha de datos da traxectoria do voo que se encontra no **apéndice A3**. Ante a ausencia dos indicadores da desviación normal —por exemplo, a partir dos datos de radar que describen traxectorias de voo comparables—, recoméndanse os valores seguintes:

Para traxectorias que implican viraxes de menos de 45 graos:

$$S(s) = 0,055 * s - 150 \quad \text{para } 2.700 \text{ m} \leq s \leq 30.000 \text{ m}$$

$$S(s) = 1.500 \quad \text{para } > 30.000 \text{ m} \quad (2.7.1)$$

Para traxectorias que implican viraxes de máis de 45 graos:

$$S(s) = 0,128 * s - 420 \quad \text{para } 3.300 \text{ m} \leq s \leq 15.000 \text{ m} \quad (2.7.2)$$

$$S(s) = 1.500 \text{ m} \quad \text{para } > 15.000 \text{ m}$$

Por cuestións prácticas, asúmese o valor 0 para $S(s)$ entre o punto de partida de rodaxe e $s = 2.700$ m ou $s = 3.300$ m, en función da cantidade de viraxes. As rutas que comprenden máis dunha viraxe débense tratar en función da ecuación (2.7.2). Para as aterraxes, pódese obviar a dispersión lateral dentro dos 6.000 m da toma de contacto.

2.7.12. Perfís de voos.

O perfil do voo é unha descrición do movemento do avión non plano vertical por riba da traxectoria en terra, en termos da súa posición, velocidade, ángulo de empenamento e regraxe da potencia do motor. Unha das tarefas máis importantes que ten que realizar o usuario do modelo é a definición de perfís de voo que satisfagan correctamente os requisitos da aplicación da modelización, dunha maneira eficiente e sen empregar moito tempo nin demasiados recursos. Naturalmente, para conseguir unha alta precisión, os perfís teñen que reflectir fielmente as operacións do avión que pretenden representar. Para iso precísase información fiable sobre as condicións atmosféricas, os tipos de avión e as versións, pesos operativos (ou de operación) e procedementos operativos (ou de operación) — as variacións de pulo e configuración dos *flaps* e compensacións entre cambios de altitude e velocidade—, calculando a media de todos os factores con respecto aos períodos de tempo pertinentes. A miúdo, non se encontra dispoñible información detallada, pero isto non supón necesariamente un obstáculo; mesmo aínda que si se encontran dispoñibles, o modelista ten que encontrar o equilibrio entre a precisión e o nivel de detalle da información de entrada que necesita e utiliza para obter as curvas de nivel de ruído.

A síntese dos perfís de voos das «etapas do procedemento» obtidos da base de datos de ANP ou que proporcionan os operadores do avión descríbese na sección 2.7.13 e no **apéndice B**. O dito proceso, que adoita ser o único recurso dispoñible para o modelista cando non hai datos de radar dispoñibles, ofrece a xeometría da traxectoria do voo e as variacións de pulo e velocidade asociados. Normalmente pódese asumir que todos os avións (iguais) dunha determinada banda de dispersión, independentemente de que estean asignados á traxectoria principal ou a subtraxectorias dispersas, seguen o perfil da traxectoria principal.

Máis alá da base de datos de ANP, que ofrece información predeterminada sobre as etapas do procedemento, os operadores do avión constitúen a mellor fonte de información fiable, é dicir, os procedementos que utilizan e os típicos pesos voados. Para os voos individuais, a fonte «tipo de referencia» é o rexistrador dos datos do voo do avión (FDR) do cal se pode obter toda a información pertinente. Pero mesmo aínda que tales datos se encontran dispoñibles, a tarefa de preprocesamento resulta formidabile. Polo tanto, e tendo en conta as economías de modelización necesarias, a solución práctica común é facer hipóteses contrastadas acerca de pesos medios e dos procedementos operativos.

É necesario ter precaución antes de adoptar as etapas predeterminadas do procedemento establecidas na base de datos de ANP (que se asumen habitualmente cando os procedementos reais non se coñecen). Trátase de procedementos normalizados amplamente observados que os operadores poden ou non utilizar en casos particulares. Un factor importante é a definición do pulo do reactor na engalaxe (e ás veces no ascenso), que pode depender en certa medida de circunstancias imperantes. En particular, é unha práctica común reducir os niveis de pulo durante a engalaxe (a partir do máximo dispoñible), co fin de ampliar a vida útil do motor. No apéndice B ofrécese orientación sobre a representación da práctica habitual; polo xeral, isto xerará curvas de nivel de ruído máis realistas que a hipótese dun pulo total. Non obstante, se, por exemplo, as pistas son curtas ou as temperaturas medias do aire son altas, o pulo total podería constituír unha hipótese máis realista.

Ao modelizar escenarios reais, pódese conseguir maior precisión cos datos de radar co fin de complementar ou substituír esta información nominal. Os perfís de voos pódense determinar a partir dos datos de radar dunha forma similar á das traxectorias principais laterais —pero só despois de separar o tráfico por tipo e variante de avión e, ás veces, por peso ou lonxitude da etapa (pero non en función da dispersión)— co fin de obter, para cada subgrupo, un perfil medio de altura e velocidade con respecto á distancia de terreo percorrida. Unha vez máis, ao realizar a combinación coas traxectorias en terra posteriormente, este perfil único adoita asignarse á traxectoria principal e ás subtraxectorias por igual.

Coñecendo o peso do avión, a variación da velocidade e o pulo pódense calcular a través dun procedemento paso a paso baseado en ecuacións de movemento. Antes diso, resulta útil procesar previamente os datos co fin de minimizar os efectos dos erros de radar que poden facer que os cálculos de aceleración resulten pouco fiables. O primeiro paso en cada caso consiste en redefinir o perfil conectando os segmentos rectilíneos para representar as etapas pertinentes do voo, de tal maneira que cada segmento se clasifique correctamente, é dicir, como un desprazamento en terra firme, ascenso ou descenso a velocidade constante, redución de pulo ou aceleración ou desaceleración con ou sen cambio da posición dos *flaps*. O peso do avión e as condicións atmosféricas tamén constitúen información necesaria.

Na sección 2.7.11 pónse de manifesto que se debe considerar un método específico para ter en conta a dispersión lateral das rutas nominais ou traxectorias principais. As mostras de datos de radar caracterízanse por dispersións similares de traxectorias de voos no plano vertical. Non obstante, non é unha práctica habitual modelizar a dispersión vertical como unha variable independente; xorde principalmente polas diferenzas entre o peso do avión e os procedementos operativos que se teñen en conta ao preprocesar os datos de entrada de tráfico.

2.7.13. Construción de segmentos de traxectorias de voo.

Cada traxectoria de voo tense que definir mediante un conxunto de coordenadas de segmentos (nodos) e parámetros de voo. A orixe tense en conta para determinar as coordenadas dos segmentos da traxectoria en terra. A continuación, calcúlase o perfil do voo recordando que, para un conxunto de etapas do procedemento de voo determinado, o perfil depende da traxectoria en terra; por exemplo, co mesmo pulo e á mesma velocidade, a velocidade de ascenso é inferior, pola súa vez, que a do voo en liña recta. Por último, os segmentos da traxectoria do voo tridimensional constrúense mediante a combinación do perfil bidimensional do voo e a traxectoria en terra tridimensional¹⁵.

Traxectoria en terra.

Unha traxectoria en terra, xa sexa unha traxectoria principal ou unha subtraxectoria dispersa, defínese mediante unha serie de coordenadas (x, y) no plano de terra (por exemplo, a partir da información de radar) ou mediante unha secuencia de comandos vectoriais que describen os segmentos rectos e os arcos circulares (viraxes de raio definido r e cambio de rumbo $\Delta\xi$).

Para a modelización da segmentación, un arco represéntase mediante unha secuencia de segmentos rectos colocados nos subarcos. Aínda que non aparecen explicitamente nos segmentos da traxectoria en terra, o empenamento do avión durante as viraxes inflúe na súa definición. No **apéndice B4** explícase como calcular os ángulos de empenamento durante unha viraxe uniforme pero, evidentemente, non se aplican realmente nin se eliminan ao instante. Non se prescribe como xestionar as transicións entre os voos rectos e en viraxe, ou ben entre unha viraxe e unha inmediatamente secuencial. Por norma xeral, os detalles, que competen ao usuario (véxase a sección 2.7.11), poden ter un efecto insignificante nas curvas de nivel de ruído finais; o requisito consiste principalmente en evitar as discontinuidades nos extremos da viraxe, e isto pódese conseguir simplemente, por exemplo, inserindo segmentos de transición curtos sobre os cales o ángulo de empenamento cambia linealmente coa distancia. Só no caso especial de que unha viraxe particular poida ter un efecto dominante nas curvas de nivel de ruído finais sería necesario modelizar as dinámicas da transición de forma máis realista, co fin de relacionar o ángulo de empenamento con tipos de avións particulares e adoptar proporcións de bambeo apropiadas. Neste contexto é suficiente pór de manifesto que os subarcos finais $\Delta\xi_{\text{trans}}$ en calquera viraxe dependen dos requisitos de cambio do ángulo de empenamento. O resto do arco con cambio de rumbo de $\Delta\xi - 2 \cdot \Delta\xi_{\text{trans}}$ graos divídese en subarcos n_{sub} segundo a ecuación:

$$n_{\text{sub}} = \text{int}(1 + (\Delta\xi - 2 \cdot \Delta\xi_{\text{trans}})/30) \quad (2.7.3)$$

onde $\text{int}(x)$ é unha función que devolve a parte enteira de x. Entón, o cambio de rumbo $\Delta\xi_{\text{sub}}$ de cada subarco calcúlase como

$$\Delta\xi_{\text{sub}} = (\Delta\xi - 2 \cdot \Delta\xi_{\text{trans}})/n_{\text{sub}} \quad (2.7.4)$$

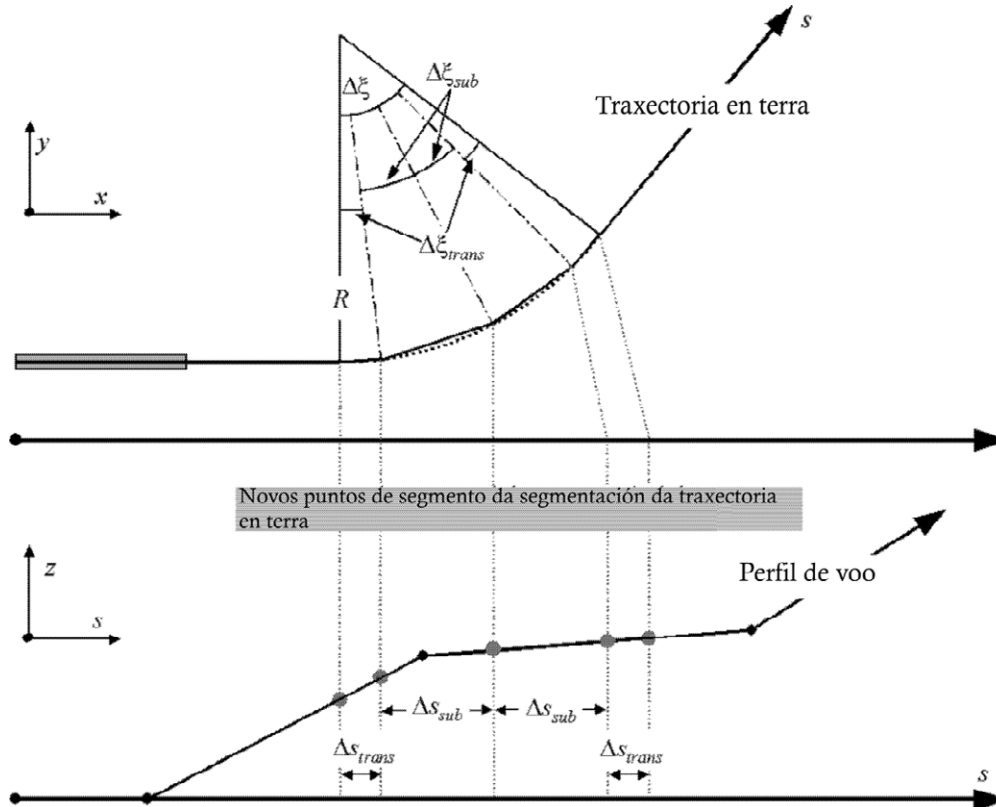
onde n_{sub} necesita ser o suficientemente grande como para garantir que $\Delta\xi_{\text{sub}} \leq 30$ graos. A segmentación dun arco (excluídos os subsegmentos de transición de terminación) ilústrase na **figura 2.7.f**¹⁶.

¹⁵ Para este fin, a lonxitude total da traxectoria en terra sempre debe exceder a do perfil do voo. Isto pódese conseguir, se resulta necesario, coa incorporación de segmentos rectos de lonxitude adecuada ao último segmento da traxectoria en terra.

¹⁶ Definida desta forma sinxela, a lonxitude total da traxectoria segmentada é lixeiramente inferior á da traxectoria circular. Non obstante, o erro nas curvas de nivel de ruído consecuente é insignificante se os incrementos angulares son inferiores a 30°.

Figura 2.7.f

Construción dos segmentos da traxectoria do voo que dividen a viraxe en segmentos de lonxitude Δs (vista superior no plano horizontal, vista inferior no plano vertical)



Perfil do voo.

Os parámetros que describen cada segmento do perfil do voo ao inicio (sufixo 1) e ao final (sufixo 2) do segmento son:

s_1, s_2 distancia ao longo da traxectoria en terra,

z_1, z_2 altura do avión,

V_1, V_2 velocidade respecto á terra,

P_1, P_2 parámetro de potencia relacionado co ruído (de acordo coas curvas de NPD),

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$ ángulo de empenamento.

Para crear un perfil de voo a partir dun conxunto de etapas do procedemento (síntese da ruta do voo), os segmentos créanse en secuencias para conseguir as condicións necesarias nos puntos finais. Os parámetros dos puntos finais para cada segmento convértese nos parámetros dos puntos iniciais para cada segmento seguinte. No cálculo de calquera segmento, os parámetros coñécense; as condicións necesarias do punto final especificanse na etapa do procedemento. As etapas están definidas na información por defecto ANP ou ben as define o usuario (por exemplo, a partir dos manuais de voo). As condicións finais acostuman ser a altura e a velocidade; a tarefa de creación de perfis consiste en determinar a distancia da traxectoria cuberta para acadar as ditas condicións. Os parámetros non definidos determináanse mediante os cálculos de rendemento do voo descritos no **apéndice B**.

Se a traxectoria en terra é recta, os puntos do perfil e os parámetros do voo asociados pódense determinar con independencia da traxectoria en terra (o ángulo de empenamento sempre é cero). Non obstante, é raro que as traxectorias en terra sexan rectas; acostuman incorporar viraxes e, para conseguir os mellores resultados, téñense que contabilizar ao determinar o perfil de voo bidimensional, cando proceda, dividindo os segmentos do perfil nos nodos da traxectoria en terra para introducir cambios do ángulo de empenamento. Por norma xeral, a lonxitude do seguinte segmento descoñécese desde o principio e calcúlase supondo provisionalmente que non se produce ningún cambio no ángulo de empenamento. Se se observa que o segmento provisional abrangue un ou varios nodos da traxectoria en terra, o primeiro en s , é dicir, $s_1 < s < s_2$, o segmento trúncase en s , calculando aí os parámetros mediante interpolación (véxase a continuación). Estes convértense nos parámetros dos puntos finais do segmento actual e os parámetros dos puntos iniciais dun novo segmento —que conservan as mesmas condicións finais obxectivo—. Se non hai ningún nodo da traxectoria en terra que interveña, confirmase o segmento provisional.

Se se ignoran os efectos das viraxes no perfil de voo, adóptase a solución dun único segmento en voo recto, aínda que se conserva a información do ángulo de empenamento para un uso posterior.

Independentemente de que os efectos da viraxe se modelicen completamente ou non, cada traxectoria de voo tridimensional xérase mediante a combinación do seu perfil de voo bidimensional coa súa traxectoria en terra bidimensional. O resultado é unha secuencia de conxuntos de coordenadas (x, y, z) , e cada unha delas é un nodo da traxectoria en terra segmentada, un nodo do perfil de voo ou ambos, e os puntos do perfil van acompañados dos valores correspondentes de altura z , velocidade respecto ao chan V , ángulo de empenamento ε e potencia do motor P . Para un punto da vía (x, y) que se encontra entre os puntos finais dun segmento do perfil do voo, os parámetros do voo interpólanse como segue:

$$z = z_1 + f \cdot (z_2 - z_1) \quad (2.7.5)$$

$$V = \sqrt{V_1^2 + f \cdot (V_2^2 - V_1^2)} \quad (2.7.6)$$

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + f \cdot (\varepsilon_2 - \varepsilon_1) \quad (2.7.7)$$

$$P = \sqrt{P_1^2 + f \cdot (P_2^2 - P_1^2)} \quad (2.7.8)$$

onde

$$f = (s - s_1)/(s_2 - s_1) \quad (2.7.9)$$

Téñase en conta que, mentres que se supón que z e ε varían linealmente coa distancia, se supón que V e P varían linealmente co tempo (é dicir, cunha aceleración constante¹⁷).

Ao asociar os segmentos do perfil do voo cos datos de radar (análise da traxectoria do voo), todas as distancias dos puntos finais, as alturas, as velocidades e os ángulos de empenamento se determinan directamente a partir dos ditos datos; só o réxime de potencia ten que calcularse conforme as ecuacións de rendemento. Tendo en conta que as coordenadas do perfil de voo e da traxectoria en terra se poden asociar segundo corresponda, adoita tratarse dunha tarefa bastante sinxela.

Segmentación do desprazamento en terra firme ao engalar.

Ao engalar, a medida que o avión acelera entre o punto en que se libera o freo (o que tamén se coñece como punto de partida de rodaxe, SOR) e o punto de engalaxe, a velocidade cambia radicalmente nunha distancia comprendida entre 1.500 e 2.500 m, desde cero ata un rango comprendido entre 80 e 100 m/s.

¹⁷ Mesmo aínda que a regraxa da potencia do motor se manteña constante ao longo dun segmento, a forza propulsora e a aceleración poden cambiar debido á variación da densidade do aire coa altura. Non obstante, para os efectos da modelización do ruído, estes cambios adoitan ser insignificantes.

O pulo ao engalar divídese en segmentos con lonxitudes variables e, con respecto a cada unha delas, a velocidade do avión cambia en incrementos específicos ΔV de non máis de 10 m/s (ao redor de 20 kt). Aínda que realmente varía durante a rodaxe ao engalar, considérase que unha hipótese de aceleración constante é adecuada para este propósito. Neste caso, para a fase de engalaxe, V_1 é a velocidade inicial, V_2 é a velocidade de engalaxe, n_{TO} é o número de segmentos de engalaxe e s_{TO} é a distancia de engalaxe equivalente s_{TO} . Para a distancia de engalaxe equivalente s_{TO} (véxase o **apéndice B**), a velocidade inicial V_1 e a velocidade de engalaxe V_2 , o número n_{TO} de segmentos para o desprazamento en terra firme é:

$$n_{TO} = \text{int}(1 + (V_2 - V_1)/10) \quad (2.7.10)$$

E, en consecuencia, o cambio de velocidade ao longo do segmento é:

$$\Delta V = (V_2 - V_1)/n_{TO} \quad (2.7.11)$$

E o tempo Δt en cada segmento (supondo unha aceleración constante) é:

$$\Delta t = \frac{2 \cdot s_{TO}}{(V_2 + V_1) \cdot n_{TO}} \quad (2.7.12)$$

A lonxitude $s_{TO,k}$ do segmento k ($1 \leq k \leq n_{TO}$) da rodaxe ao engalar é:

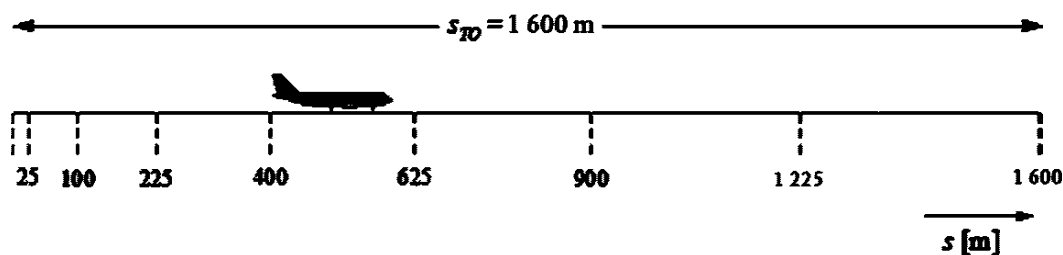
$$s_{TO,k} = (k - 0,5) \cdot \Delta V \cdot \Delta t = \frac{(2k - 1) \cdot s_{TO}}{n_{TO}^2} \quad (2.7.13)$$

Exemplo:

Para unha distancia de engalaxe $s_{TO} = 1\,600$ m, $V_1 = 0$ m/s e $V_2 = 75$ m/s, isto resulta en $n_{TO} = 8$ segmentos con lonxitudes que oscilan entre 25 e 375 metros (véxase a **figura 2.7.g**):

Figura 2.7.g

Segmentación da rodaxe de engalaxe (exemplo para oito segmentos)



Ao igual que sucede cos cambios de velocidade, o pulo do avión cambia ao longo de cada segmento mediante un incremento constante ΔP , que se calcula como:

$$\Delta P = (P_{TO} - P_{init})/n_{TO} \quad (2.7.14)$$

onde P_{TO} e P_{init} , respectivamente, designan o pulo do avión no punto de engalaxe e o pulo do avión ao punto de partida de rodaxe de engalaxe.

O uso deste incremento de pulo constante (en lugar do uso da ecuación de forma cuadrática 2.7.8) pretende ser coherente coa relación lineal entre o pulo e a velocidade no caso dun avión con motor a reacción (ecuación B-1).

Segmentación do segmento de ascenso inicial.

Durante o segmento de ascenso inicial, a xeometría cambia rapidamente, en particular con respecto ás localizacións do observador no lado da traxectoria do voo, onde o ángulo beta cambiará rapidamente a medida que o avión ascende ao longo do segmento inicial. As comparacións con cálculos de segmentos moi pequenos revelan que un único segmento de ascenso ofrece unha aproximación moi pobre ao cálculo do ruído en puntos situados nos laterais da traxectoria do voo. A precisión do cálculo mellórase mediante a subsegmentación do primeiro segmento de engalaxe. A atenuación lateral inflúe significativamente na lonxitude de cada segmento e no número. Tendo en conta a expresión da atención lateral total do avión con motores montados en fuselaxe, pódese observar que, para un cambio limitado da atenuación lateral de 1,5 dB por subsegmento, o segmento de ascenso inicial débese subsegmentar en función do seguinte conxunto de valores de altura:

$$z = \{18,9; 41,5; 68,3; 102,1; 147,5; 214,9; 334,9; 609,6; 1\ 289,6\} \text{ metros, ou}$$

$$z = \{62, 136, 224, 335, 484, 705, 1\ 099, 2\ 000, 4\ 231\} \text{ pés}$$

As alturas anteriores aplícanse identificando que altura de entre as anteriores está máis próxima ao punto final do segmento orixinal. As alturas reais do subsegmento calcularíanse da seguinte forma:

$$z'_i = z [z_i/z_N] \quad (i = 1 \dots N) \quad (2.7.15)$$

onde z é a altura do extremo do segmento orixinal, z_i é a altura i do conxunto de valores de alturas e z_N é o límite superior máis próximo á altura z . Este proceso dá lugar a que o cambio de atenuación lateral ao longo de cada segmento sexa constante, polo que se obteñen as curvas de nivel de ruído máis precisas, pero sen o custo que supón utilizar segmentos moi curtos.

Exemplo:

Se a altura do punto final do segmento orixinal está en $z = 304,8$ m entón, de acordo co conxunto de valores de altura, $214,9 < 304,8 < 334,9$ e o límite superior máis próximo a $z = 304,8$ m é $z_7 = 334,9$ m. Por tanto, as alturas dos puntos finais do subsegmento calcúlanse como segue:

$$z'_i = 304,8 [z_i/334,9] \quad (i = 1..N)$$

Por tanto, z'_1 sería 17,2 m e z'_{21} sería 37,8 m, etc.

Os valores de velocidade e potencia do motor nos puntos inseridos interpólanse usando as ecuacións (2.7.11) e (2.7.13), respectivamente.

Segmentación dos segmentos en voo.

Despois de obter a traxectoria do voo segmentado conforme o procedemento descrito na sección 2.7.13 e de aplicar a subsegmentación descrita, pode resultar necesario realizar axustes adicionais de segmentación. Estes axustes inclúen:

- a eliminación dos puntos da traxectoria do voo que están moi próximos entre si;
- a inserción de puntos adicionais se a velocidade cambia ao longo dos segmentos que son demasiado longos.

Cando dous puntos adxacentes se encontran a menos de 10 metros, e se as velocidades e os pulos asociados son os mesmos, é necesario eliminar un dos puntos.

Para os segmentos en voo en que hai un cambio de velocidade importante ao longo dun segmento, débese subdividir como no desprazamento en terra firme, é dicir

$$n_{seg} = \text{int}(1 + |V_2 - V_1|/10) \quad (2.7.16)$$

onde V_1 e V_2 son as velocidades iniciais e finais do segmento, respectivamente. Os parámetros do subsegmento correspondente calcúlanse de maneira similar ao desprazamento en terra firme ao engalar, usando as ecuacións de 2.7.11 a 2.7.13.

Rodaxe en terra nas aterraxes.

Aínda que a rodaxe en terra para a aterraxe é basicamente unha inversión da rodaxe en terra para a engalaxe, é necesario ter especialmente en conta:

- o pulo inverso, que ás veces se aplica para desacelerar o avión;
- os avións que deixan a pista despois da desaceleración (o avión que deixa a pista deixa de contribuír ao ruído do aire, xa que se ignora o ruído de *taxiing*).

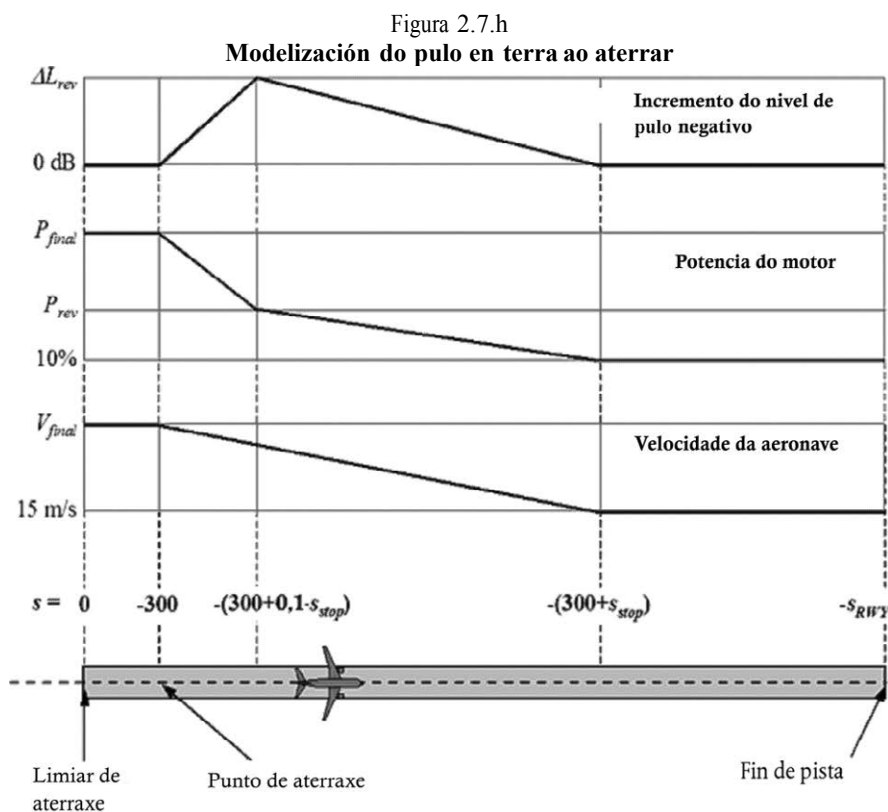
En comparación coa distancia de rodaxe de engalaxe, que se obtén a partir dos parámetros do rendemento do avión, a distancia de parada s_{stop} (é dicir, a distancia desde a aterraxe ata o punto en que o avión sae da pista) non é puramente específica do avión. Aínda que se pode calcular unha distancia de parada mínima a partir do rendemento e a masa do avión (e o pulo inverso dispoñible), a distancia de parada real depende tamén da localización das pistas de rodaxe, da situación do tráfico e dos regulamentos específicos do aeroporto que rexen o uso do pulo inverso.

O uso do pulo inverso non é un procedemento estándar; só se aplica se non se pode conseguir a desaceleración necesaria mediante a utilización dos freos das rodas (o pulo inverso pode resultar realmente molesto, xa que un cambio rápido da potencia do motor do ralenti ao axuste inverso produce un estrondo).

Non obstante, a maioría das pistas úsase para as engalaxes e as aterraxes, xa que o pulo inverso ten un efecto mínimo nos contornos de ruído, tendo en conta que a enerxía sonora total nas proximidades da pista está dominada polo ruído producido polas operacións de engalaxe. As contribucións do pulo inverso ás curvas de nivel de ruído só poden resultar significativas cando o uso da pista está limitado ás operacións de aterraxe.

Fisicamente, o ruído do pulo inverso é un proceso moi complexo pero, debido ao feito de que ten unha importancia relativamente baixa para o cálculo das isófonas, pódese modelizar de maneira sinxela —o cambio rápido da potencia do motor tense en conta mediante unha segmentación adecuada—.

É evidente que a modelización do pulo en terra ao aterraxar é menos complicada que para o ruído do pulo ao engalar. Recoméndanse os seguintes supostos de modelización simplificada para uso xeral, sempre que non haxa información detallada dispoñible (véxase a **figura 2.7.h**).



O avión aterraxa 300 metros máis alá do limiar de aterraxe (que ten a coordenada $s = 0$ ao longo da traxectoria en terra de aproximación). A continuación, o avión desacélerase ao longo da distancia de parada s_{stop} —os valores específicos do avión facilítanse na base de datos ANP— a partir da velocidade de aproximación final V_{final} ata 15 m/s. Tendo en conta os rápidos cambios de velocidade ao longo deste segmento, débese subsegmentar da mesma forma que para o desprazamento en terra firme ao engalar (segmentos en voo con cambios rápidos de velocidade), usando as ecuacións de 2.7.10 a 2.7.13.

A potencia do motor cambia dunha potencia de aproximación final ao aterraxar a unha regrave da potencia de pulo inverso P_{rev} ao longo dunha distancia de $0,1 \times s_{stop}$, a continuación, diminúe ao 10 % da potencia máxima dispoñible ao longo do 90 % restante da distancia de parada. Ata o final da pista (a $s = -s_{RWY}$), a velocidade do avión permanece constante.

As curvas NPD para o pulo inverso actualmente non están incluídas na base de datos de ANP e, por tanto, é necesario utilizar nas curvas convencionais para modelizar este efecto. Normalmente, a potencia de pulo inverso P_{rev} rolda o 20 % da regrave da potencia total e recoméndase usar este valor cando non hai dispoñible información operativa. Non obstante, cunha regrave da potencia determinada, o pulo inverso tende a xerar moito máis ruído que o pulo de propulsión e é necesario aplicar un incremento ΔL ao nivel do evento das táboas NPD, de maneira que aumente desde cero ata un valor ΔL_{rev} (recoméndase provisionalmente un valor de 5 dB¹⁸) ao longo de $0,1 \times s_{stop}$ e, a continuación, diminúe linealmente ata cero durante o resto da distancia de parada.

2.7.14. Cálculo de ruído dun único evento.

O núcleo do proceso de modelización, descrito aquí integramente, é o cálculo do nivel do evento de ruído a partir da información da traxectoria do voo descrita nas seccións 2.7.7 a 2.7.13.

¹⁸ Isto recoméndase na edición anterior de CEAC, Doc. 29, pero aínda se considera provisional pendente da adquisición de máis datos experimentais corroborativos.

2.7.15. Índices dun único evento.

O son xerado polo movemento dun avión na localización do observador exprésase como un «nivel sonoro (ruído) dun evento único», que é un indicador do seu impacto sobre as persoas. O son recibido mídese en termos de ruído mediante unha escala de decibels básica $L_{(t)}$ que aplica unha ponderación de frecuencias (ou filtro) para simular as características do oído humano. A escala máis importante usada na modelización das curvas de nivel de ruído das aeronaves é o nivel acústico ponderado A, L_A .

A métrica que se usa con maior frecuencia para describir eventos completos é «o nivel sonoro de exposición sonora dun evento único», L_E , que teñen en conta toda a enerxía sonora dos eventos (ou a maior parte desta enerxía). Para a elaboración de disposicións para a integración temporal necesaria para a súa obtención, implica un aumento das complexidades principais da modelización da segmentación (ou simulación). Máis sinxelo de modelizar é outro índice alternativo L_{\max} , que é o nivel máximo instantáneo que se produce durante o evento; non obstante, L_E é o compoñente básico dos índices modernos de ruído de aeronaves, e no futuro pódense esperar modelos prácticos que engloben ambos os índices L_{\max} e L_E . Calquera índice se pode medir con diferentes escalas de ruído; neste documento, só se considera o nivel sonoro con ponderación A. Simbolicamente, a escala indícase xeralmente mediante o subíndice A, é dicir, L_{AE} , $L_{A\max}$.

O nivel de exposición sonora (de ruído) dun único evento exprésase exactamente como:

$$L_E = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L(t)/10} dt \right) \quad (2.7.17)$$

onde t_0 denota un tempo de referencia. Elíxese o intervalo de integración $[t_1, t_2]$ para garantir que se abrangue (case) todo o son pertinente do evento. Moi a miúdo, elíxense os límites t_1 e t_2 para abranguer o período para o cal o nivel de $L(t)$ se encontra dentro de $L_{\max} - 10$ dB. Este período coñécese como o tempo «10 dB por debaixo do máximo». Os niveis de exposición sonora tabulados na base de datos ANP son valores 10 dB por debaixo do máximo¹⁹.

Para a modelización das curvas de nivel de ruído dunha aeronave, a aplicación principal da ecuación 2.7.17 utilizada é o índice normalizado nivel de exposición ao ruído L_{AE} (acrónimo SEL):

$$L_{AE} = 10 \cdot \lg \left(\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} 10^{L_A(t)/10} dt \right) \quad \text{onde } t_0 = 1 \text{ segundo} \quad (2.7.18)$$

As ecuacións do nivel de exposición anteriores pódense usar para determinar os niveis do evento cando se coñece toda a historia temporal $L_{(t)}$. Os ditos historiais de tempo non se definen na metodoloxía de modelización de ruído recomendada; os niveis de exposición dos eventos calcúlanse sumando os valores dos segmentos; os niveis de ruído dos eventos parciais correspondentes a cada un deles definen a contribución dun único segmento finito da traxectoria do voo.

2.7.16. Determinación dos niveis do evento a partir dos datos NPD.

A fonte principal de datos sobre o ruído dos avións é a base de datos internacional de rendemento e ruído das aeronaves (ANP). Nela figuran os valores de L_{\max} e L_E en función da distancia de propagación d para tipos de avións específicos, variantes,

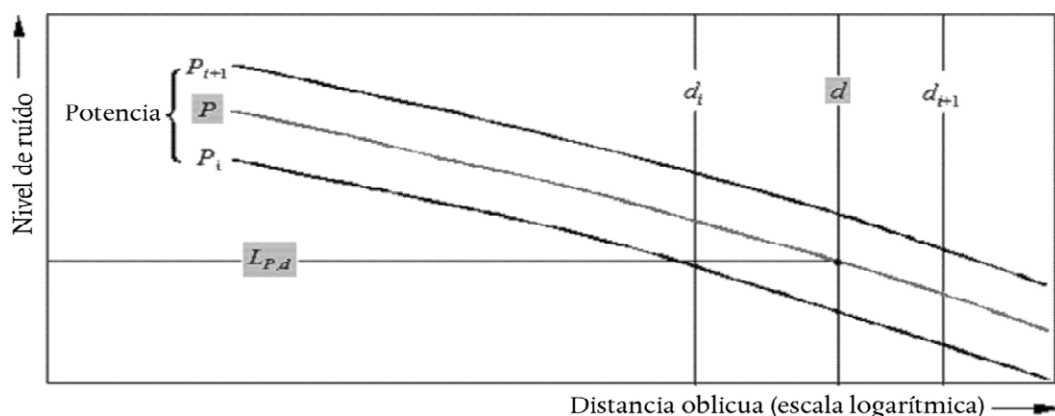
¹⁹ L_E 10 dB por debaixo do máximo pode ser 0,5 dB máis baixo que o valor de L_E avaliado durante máis tempo. Non obstante, salvo en distancias oblicuas curtas onde os niveis do evento son altos, rúidos ambientais estraños a miúdo fan que os intervalos de medida máis longos resulten pouco prácticos, e os valores 10 dB por debaixo do máximo son a norma. Como os estudos dos efectos do ruído (usados para «calibrar» os contornos de ruído) tamén tenden a basearse en valores 10 dB por debaixo do máximo, as tabulacións ANP considéranse totalmente convenientes.

configuracións do voo (aproximación, saída, *flaps*) e regraxe da potencia P . Están relacionados cun voo uniforme a velocidades de referencia específicas V_{ref} ao longo dunha traxectoria de voo recta supostamente infinita²⁰.

Máis adiante descríbese a forma en que se especifican as variables independentes P e d . Nunha única busca, cos valores de entrada P e d , os valores de saída necesarios son os niveis básicos $L_{max}(P,d)$ ou $L_{E\infty}(P,d)$ (aplicables a unha traxectoria de voo infinita). A menos que os valores resulten estar tabulados exactamente para P ou d , por norma xeral resultará necesario calcular os niveis necesarios de ruído do evento mediante a interpolación. Úsase unha interpolación lineal entre a regraxe da potencia tabulada, mentres que se utiliza unha interpolación logarítmica entre as distancias tabuladas (véxase a **figura 2.7.i**).

Figura 2.7.i

Interpolación nas curvas ruído-potencia-distancia



Se P_i e P_{i+1} son valores de potencia do motor para os cales se tabula o nivel de ruído con respecto aos datos de distancia, o nivel de ruído $L(P)$ a unha distancia determinada para a potencia intermedia P , entre P_i e P_{i+1} , resulta de:

$$L(P) = L(P_i) + \frac{L(P_{i+1}) - L(P_i)}{P_{i+1} - P_i} \cdot (P - P_i) \quad (2.7.19)$$

Se, con calquera regraxe da potencia, d_i e d_{i+1} son distancias para as cales se tabulan os datos de ruído, o nivel de ruído $L(d)$ para unha distancia intermedia d , entre d_i e d_{i+1} resulta de:

$$L(d) = L(d_i) + \frac{L(d_{i+1}) - L(d_i)}{\lg d_{i+1} - \lg d_i} \cdot (\lg d - \lg d_i) \quad (2.7.20)$$

Coas ecuacións (2.7.19) e (2.7.20) pódese obter un nivel de ruído $L(P,d)$ para calquera regraxe da potencia P e a calquera distancia d recollida na base de datos NPD.

Para distancias d que queden fóra do marco de NPD, úsase a ecuación 2.7.20 para realizar a extrapolación dos últimos dous valores, é dicir, chegadas desde $L(d_1)$ e $L(d_2)$ ou saídas desde $L(d_{i-1})$ e $L(d_i)$, onde i é o número total de puntos NPD na curva. Polo tanto,

Chegadas:
$$L(d) = L(d_2) + \frac{L(d_1) - L(d_2)}{\lg d_2 - \lg d_1} \cdot (\lg d_2 - \lg d) \quad (2.7.21)$$

Saídas:
$$L(d) = L(d_{i-1}) - \frac{L(d_{i-1}) - L(d_i)}{\lg d_i - \lg d_{i-1}} \cdot (\lg d - \lg d_{i-1}) \quad (2.7.22)$$

²⁰ Aínda que a noción dunha traxectoria de voo de lonxitude infinita é importante para definir o nivel de exposición ao ruído do evento L_E , garda menor relevancia no caso do nivel máximo do evento L_{max} que se rexe conforme o ruído emitido polo avión nunha posición particular no punto máis próximo (ou preto) ao observador. Para os efectos de modelización, o parámetro de distancia NPD considérase como a distancia mínima entre o observador e o segmento.

Tendo en conta que, a curtas distancias d , os niveis de ruído aumentan con moita rapidez a medida que diminúe a distancia de propagación, recoméndase impor un límite inferior de 30 m para d , é dicir, $d = \max(d, 30 \text{ m})$.

Axuste de impedancia de datos NPD estándar.

Os datos NPD facilitados na base de datos de ANP normalízanse para condicións atmosféricas específicas (temperatura de 25 °C e presión de 101,325 kPa). Antes de aplicar o método de interpolación/extrapolación descrito anteriormente, débese aplicar un axuste de impedancia acústica a estes datos NPD estándar.

A impedancia acústica está relacionada coa propagación das ondas sonoras nun medio e defínese como o produto da densidade do aire e a velocidade do son. Para unha intensidade sonora determinada (enerxía por unidade de superficie) percibida a unha distancia específica da fonte, a presión sonora asociada (usada para definir os índices SEL e L_{Amax}) depende da impedancia acústica do aire na localización de medida. É unha función da temperatura e a presión atmosférica (e da altitude indirectamente). Por tanto, é necesario axustar os datos NPD estándar da base de datos ANP para ter en conta as condicións reais de temperatura e presión no punto do receptor, que difiren significativamente das condicións normalizadas dos datos ANP.

O axuste de impedancia que se debe aplicar aos niveis estándar NPD exprésase como segue:

$$\Delta_{Impedance} = 10 \cdot \lg\left(\frac{\rho \cdot c}{409,81}\right) \quad (2.7.23)$$

onde:

$\Delta_{Impedance}$ axuste de impedancia para as condicións atmosféricas reais no punto do receptor (dB)

$\rho \cdot c$ impedancia acústica (newton-segundos/m³) do aire no punto do receptor (409,81 é a impedancia asociada coas condicións atmosféricas de referencia dos datos NPD na base de datos ANP).

A impedancia $\rho \cdot c$ calcúlase como segue:

$$\rho \cdot c = 416,86 \cdot \left[\frac{\delta}{\theta^{1/2}} \right] \quad (2.7.24)$$

Δ p/p_0 , o cociente entre a presión do aire ambiente á altitude do observador e a presión do aire estándar ao nivel medio do mar: $p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ (ou $1\,013,25 \text{ mb}$)

θ $(T + 273,15)/(T_0 + 273,15)$, o cociente entre a temperatura do aire á altitude do observador e a temperatura do aire estándar ao nivel medio do mar: $T_0 = 15,0 \text{ °C}$

O axuste de impedancia acústica acostuma ser inferior a algunhas décimas de dB. En particular, cabe destacar que, en condicións atmosféricas estándar ($p_0 = 101,325 \text{ kPa}$ e $T_0 = 15,0 \text{ °C}$), o axuste de impedancia é inferior a 0,1 dB (0,074 dB). Non obstante, cando hai unha variación importante de temperatura e de presión atmosférica en relación coas condicións atmosféricas de referencia dos datos NPD, o axuste pode resultar máis importante.

2.7.17. Expresións xerais.

Nivel do evento do segmento, L_{seg} .

Os valores para un segmento determínanse mediante a aplicación de axustes aos valores básicos (traxectoria infinita) que se obteñen nos datos NPD. O nivel de ruído máximo dun segmento da traxectoria dun voo $L_{max,seg}$ pódese expresar en xeral como:

$$L_{max,seg} = L_{max}(P, d) + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) \quad (2.7.25)$$

e a contribución dun segmento da traxectoria dun voo a L_E , como:

$$L_{E,seg} = L_{E\infty}(P, d) + \Delta_V + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) + \Delta_F \quad (2.7.26)$$

Os «termos de corrección» das ecuacións 2.7.25 e 2.7.26 —que se describen detalladamente na sección 2.7.19— teñen en conta os seguintes efectos:

- Δ_V Corrección da duración: os datos NPD corresponden a unha velocidade do voo de referencia. Esta corrección axusta os niveis de exposición a velocidades que non son a de referencia (non se aplica a $L_{max,seg}$.)
- $\Delta_I(\varphi)$ Efecto da instalación: describe unha variación da directividade lateral debido á blindaxe, a refracción e a reflexión causadas pola fuselaxe, e os campos de fluxo dos motores e o seu contorno.
- $\Lambda(\beta, \ell)$ Atenuación lateral: trátase dun elemento importante na propagación do son a ángulos baixos respecto á superficie do terreo; ten en conta a interacción entre as ondas sonoras directas e reflectidas (efecto de chan) e para os efectos da falta de uniformidade atmosférica (causada principalmente polo terreo) que refractan as ondas sonoras a medida que viaxan cara ao observador polos lados da traxectoria do voo.
- Δ_F Corrección de segmentos finitos (fracción de ruído): ten en conta a lonxitude finita do segmento que obviamente contribúe menos á exposición ao ruído que unha infinita. Só se aplica aos índices de exposición.

Se o segmento forma parte do desprazamento en terra firme na engalaxe ou na aterraxe e o observador se encontra detrás do segmento obxecto de estudo, aplícanse cálculos especiais para representar a direccionalidade pronunciada do ruído do motor a reacción que se observa debaixo dun avión a punto de engalar. Estes cálculos especiais concréntanse, en particular, no uso dunha expresión particular do cálculo do ruído para a exposición ao ruído:

$$L_{max,seg} = L_{max}(P, d) + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) + \Delta_{SOR} \quad (2.7.27)$$

$$L_{E,seg} = L_{E\infty}(P, d) + \Delta_V + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, \ell) + \Delta'_F + \Delta_{SOR} \quad (2.7.28)$$

- Δ'_F Expresión particular da corrección do segmento.
- Δ_{SOR} Corrección da directividade: representa a direccionalidade pronunciada do ruído do motor a reacción detrás do segmento do desprazamento en terra firme.

O tratamento específico dos segmentos de desprazamento en terra firme descríbese na sección 2.7.19. Nas seccións seguintes descríbese o cálculo dos niveis de ruído do segmento.

Nivel de ruído dun evento L do movemento dun avión.

O nivel máximo L_{\max} sinxelamente é o valor máximo dos valores do segmento $L_{\max, \text{seg}}$ (véxanse as ecuacións 2.7.25 e 2.7.27)

$$L_{\max} = \max(L_{\max, \text{seg}}) \quad (2.7.29)$$

onde o valor de cada segmento se determina a partir dos datos NPD para a potencia P e a distancia d . Estes parámetros e os termos modificadores $\Delta_I(\varphi)$ e $\Lambda(\beta, \ell)$ explícanse a continuación.

O nivel de exposición L_E calcúlase como a suma de decibels das contribucións $L_{E, \text{seg}}$ de cada segmento significativo desde o punto de vista do ruído da súa traxectoria de voo; é dicir:

$$L_E = 10 \cdot \lg\left(\sum 10^{L_{E, \text{seg}}/10}\right) \quad (2.7.30)$$

A suma realízase paso a paso para cada un dos segmentos da traxectoria do voo.

O resto deste capítulo dedícase á determinación dos niveis de ruído dos segmentos $L_{\max, \text{seg}}$ e $L_{E, \text{seg}}$.

2.7.18. Parámetros dos segmentos das traxectorias de voo.

A potencia P e a distancia d , para as cales se interpolan os niveis básicos $L_{\max, \text{seg}}(P, d)$ e $L_{E\infty}(P, d)$ a partir de táboas NPD, determináanse a partir dos parámetros xeométricos e operativos que definen o segmento. A forma de facelo explícase a continuación coa axuda de ilustracións referidas ao plano, que contén o segmento e o observador.

Parámetros xeométricos.

Nas **figuras 2.7.j a 2.7.l** móstranse as xeometrías fonte-receptor cando o observador **O** está a) detrás, b) xunto a e (c) diante do segmento **S₁S₂**, onde a dirección do voo vai de **S₁** a **S₂**. Nestes diagramas

- O** é a localización do observador
- S₁** e **S₂** representan o inicio e o final do segmento
- S_p** é o punto situado no segmento ou na súa extensión, onde se produce o corte coa perpendicular trazada desde o observador
- d₁** e **d₂** son as distancias entre o inicio do segmento e a fin do segmento e o observador
- d_s** é a distancia máis curta entre o observador e o segmento
- d_p** é a distancia perpendicular entre o observador e o segmento ampliado (distancia oblicua mínima)
- λ** é a lonxitude do segmento da traxectoria do voo
- q** é a distancia desde **S₁** a **S_p** (negativa se a posición do observador está detrás do segmento)

Figura 2.7.j

Xeometría do segmento da traxectoria do voo para o observador por detrás do segmento

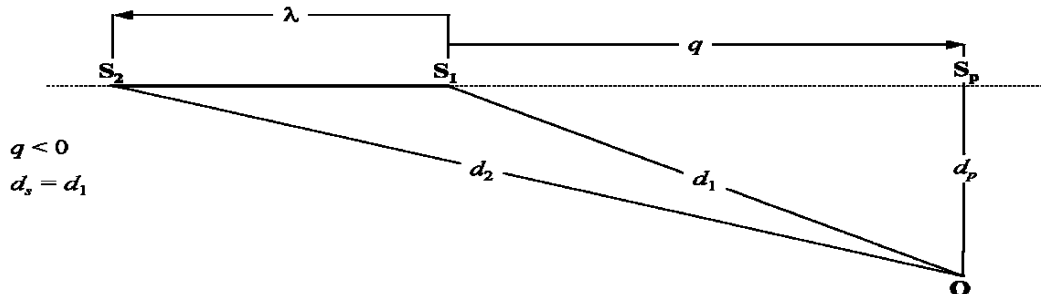


Figura 2.7.k

Xeometría do segmento da traxectoria do voo para o observador ao longo do segmento

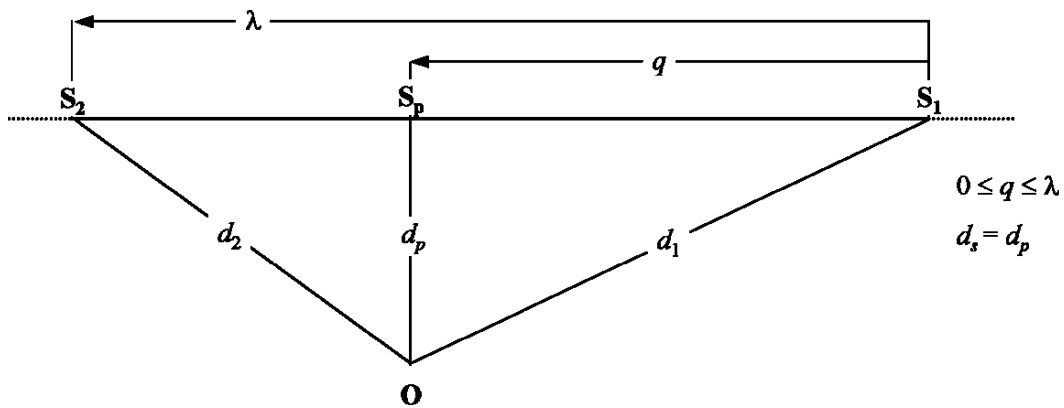
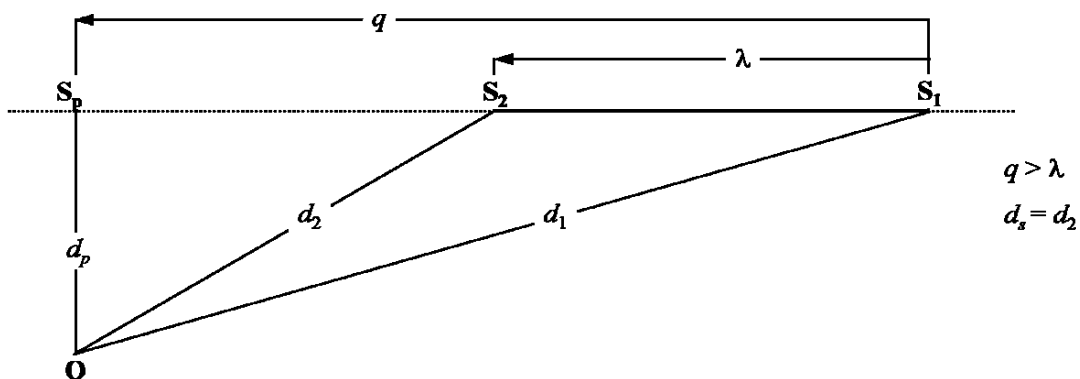


Figura 2.7.l

Xeometría do segmento da traxectoria do voo para o observador diante do segmento



O segmento da traxectoria do voo represéntase mediante unha liña continua en negra. A liña descontinua representa a extensión da traxectoria do voo que se estende ata o infinito en ambas as direccións. Para os segmentos en voo, cando o índice do evento é un nivel de exposición L_E , o parámetro da distancia NPD d é a distancia d_p entre S_p e o observador, denominada distancia oblicua mínima (é dicir, a distancia perpendicular desde o observador ata o segmento ou a súa extensión, noutras palabras, ata a traxectoria de voo infinita—hipotética—da cal se considera que o segmento forma parte).

Non obstante, no caso de índices do nivel de exposición onde as localizacións do observador están detrás dos segmentos terreo durante a rodaxe da engalaxe e as localizacións diante dos segmentos terreo durante a rodaxe da aterraxe, o parámetro da distancia NPD d convértese na distancia d_s , a distancia máis curta desde o observador ao segmento (é dicir, o mesmo que para os índices de nivel máximo).

Para os índices de nivel máximo, o parámetro da distancia NPD d é d_s , a distancia máis curta desde o observador ata o segmento.

Potencia do segmento P.

Os datos NPD tabulados describen o ruído dun avión nun voo recto uniforme sobre unha traxectoria de voo infinita, é dicir, cunha potencia constante do motor P. A metodoloxía recomendada divide as traxectorias de voo, ao longo das cales a velocidade e a dirección varían, nunha serie de segmentos finitos, cada un deles considerados partes dunha traxectoria de voo infinita uniforme para a cal os datos NPD son válidos. Non obstante, a metodoloxía prevé cambios de potencia ao longo da lonxitude do segmento; considérase que cambia linealmente coa distancia desde P_1 ao inicio ata P_2 ao final. Por tanto, resulta necesario definir un valor de segmento uniforme equivalente P. Considérase como o valor no punto do segmento máis próximo ao observador. Se o observador está a un lado do segmento (figura 2.7.k), obtense mediante a interpolación, como resultado da ecuación 2.7.8, entre os valores finais; é dicir:

$$P = \sqrt{P_1^2 + \frac{q}{\lambda} \cdot (P_2^2 - P_1^2)} \quad (2.7.31)$$

Se o observador está detrás ou diante do segmento, encóntrase no punto final máis próximo, P_1 ou P_2 .

2.7.19. Termos de corrección do nivel do evento do segmento.

Os datos NPD definen os niveis de ruído do evento como unha función da distancia en perpendicular a unha traxectoria de nivel recto idealizada de lonxitude infinita pola cal un avión voa cunha potencia constante e a unha velocidade de referencia fixa²¹. Por tanto, o nivel do evento obtido por interpolación dos valores tabulados no cadro NPD para unha regraxe da potencia específica e a distancia oblicua mínima considérase como un nivel básico. Aplícase a unha traxectoria de voo infinita e ten que corrixirse para ter en conta os efectos 1) dunha velocidade que non é de referencia, 2) os efectos de instalación do motor (directividade lateral), 3) a atenuación lateral, 4) a lonxitude de segmento finita e 5) a directividade lonxitudinal detrás do punto de inicio da rodaxe na engalaxe (véxanse as ecuacións 2.7.25 e 2.7.26).

Corrección da duración ΔV (só para os niveis de exposición L_E).

Esta corrección²² ten en conta un cambio dos niveis de exposición se a velocidade real respecto á terra do segmento difire da velocidade de referencia do avión V_{ref} a que se refiren os datos NPD. Ao igual que a potencia do motor, a velocidade varía ao longo do segmento (a velocidade respecto á terra varía de V_1 a V_2) e é necesario definir unha velocidade de segmento equivalente V_{seg} , recordando que o segmento está inclinado cara ao chan; é dicir:

$$V_{seg} = V/\cos\gamma \quad (2.7.32)$$

²¹ As especificacións de NPD requiren que os datos se baseen nas medidas do voo recto uniforme, non necesariamente a nivel; para crear as condicións de voo necesarias, a traxectoria do voo do avión de proba pódese inclinar ata a horizontal. Non obstante, como ben se observará, as traxectorias inclinadas presentan dificultades de cálculo e, ao utilizar os datos para a modelización, é conveniente visualizar as traxectorias fonte como rectas e a nivel.

²² Isto coñécese como a corrección da duración porque prevé os efectos da velocidade do avión na duración do evento acústico —coa sinxela suposición de que, se outros aspectos son iguais, a duración e, polo tanto, a enerxía sonora do evento recibida é inversamente proporcional á velocidade da fonte—.

onde V é unha velocidade do segmento equivalente con respecto á terra (para obter información, véxase a ecuación B-22, que expresa V en termos de velocidade calibrada no aire, V_c) e

$$\gamma = \tan^{-1} \left(\frac{z_2 - z_1}{s_2 - s_1} \right) \quad (2.7.33)$$

$$V = \sqrt{V_1^2 + \frac{q}{\lambda} \cdot (V_2^2 - V_1^2)} \quad (2.7.34)$$

Para os segmentos aéreos, V considérase a velocidade con respecto á terra no punto de aproximación máis próximo S , interpolada entre os valores de punto final do segmento, supondo que varía linealmente co tempo; é dicir, se o observador está a un lado do segmento:

Se o observador está detrás ou diante do segmento, encóntrase no punto final máis próximo, V_1 ou V_2 .

Para segmentos da pista (tramos do desprazamento en terra firme para engalaxe ou aterraxe para os cales $\gamma = 0$), V_{seg} considérase sinxelamente como a media das velocidades iniciais e finais do segmento; é dicir:

$$V_{\text{seg}} = (V_1 + V_2)/2 \quad (2.7.35)$$

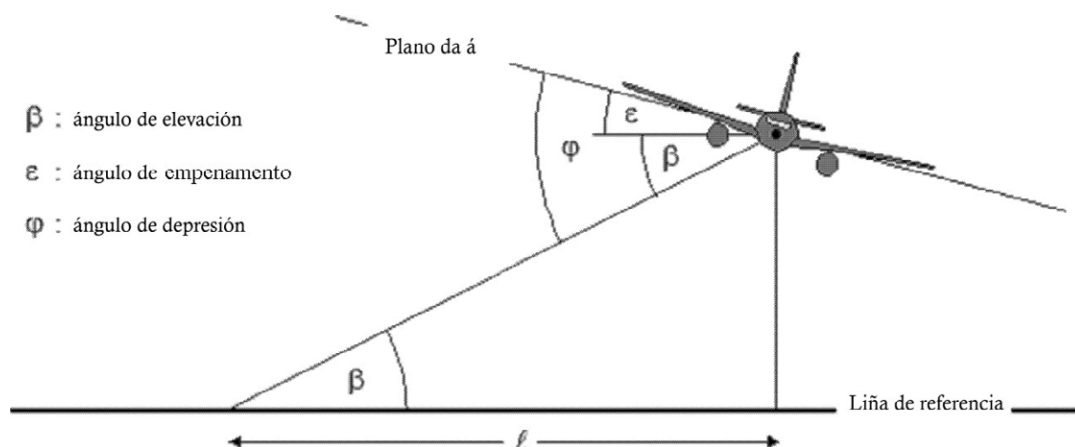
En calquera caso, a corrección da duración adicional é:

$$\Delta V = 10 \cdot \lg(V_{\text{ref}}/V_{\text{seg}}) \quad (2.7.36)$$

Xeometría da propagación sonora.

Na **figura 2.7.1** ilústrase a xeometría básica no plano normal da traxectoria do voo do avión. A liña de terra é a intersección do plano normal e do plano de terra nivelado (se a traxectoria do voo é a nivel, a liña á terra é unha vista final do plano de masa). O avión experimenta movementos de empenamento no ángulo ε medido en sentido contrario ás agullas do reloxo sobre o seu eixe lonxitudinal (é dicir, ascenso da semiá de estribor). Por tanto, o ángulo é positivo para as viraxes cara á esquerda e negativo para as viraxes cara á dereita.

Figura 2.7.m
Ángulos do observador do avión no plano normal á traxectoria do voo



- O ángulo de elevación β (entre 0 e 90°) entre a traxectoria da propagación sonora directa e a liña de terra nivelada²³ determina, xunto coa inclinación da traxectoria do voo e o desprazamento lateral ℓ do observador a partir da traxectoria en terra, a atenuación lateral.
- O ángulo de depresión φ entre o plano da á e a traxectoria de propagación determina os efectos da instalación do motor. Con respecto á convención do ángulo de empenamento $\varphi = \beta \pm \varepsilon$ co signo positivo para os observadores a estribor (dereita) e negativo para os observadores a babor (esquerda).

Corrección da instalación do motor Δ_I .

Un avión en voo é unha fonte sonora complexa. Non só son as fontes do motor (e a fuselaxe) complexos na orixe, senón tamén a configuración da fuselaxe, en particular a localización dos motores, as influencias dos patróns de radiación sonora a través de procesos de reflexión, refracción e difusión mediante superficies sólidas e campos de fluxo aerodinámico. Isto ten como consecuencia unha direccionalidade non uniforme do son irradiado lateralmente sobre o eixe de bambeo do avión, que neste contexto se denomina directividade lateral.

Hai diferenzas importantes na directividade lateral entre o avión con motores montados en fuselaxe e na parte inferior das ás, e prevense na seguinte expresión:

$$\Delta_I(\varphi) = 10 \cdot \lg \left[\frac{(a \cdot \cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi)^b}{(c \cdot \sin^2 2\varphi + \cos^2 2\varphi)} \right] \quad \text{dB} \quad (2.7.37)$$

onde $\Delta_I(\varphi)$ é a corrección, en dB, para o ángulo de depresión φ (véxase a **figura 2.7.m**) e

$$\begin{array}{llll} a = 0,00384, & b = 0,0621, & c = 0,8786 & \text{para motores montados nas ás;} \\ a = 0,1225, & b = 0,3290, & c = 1 & \text{para motores montados en fuselaxe.} \end{array}$$

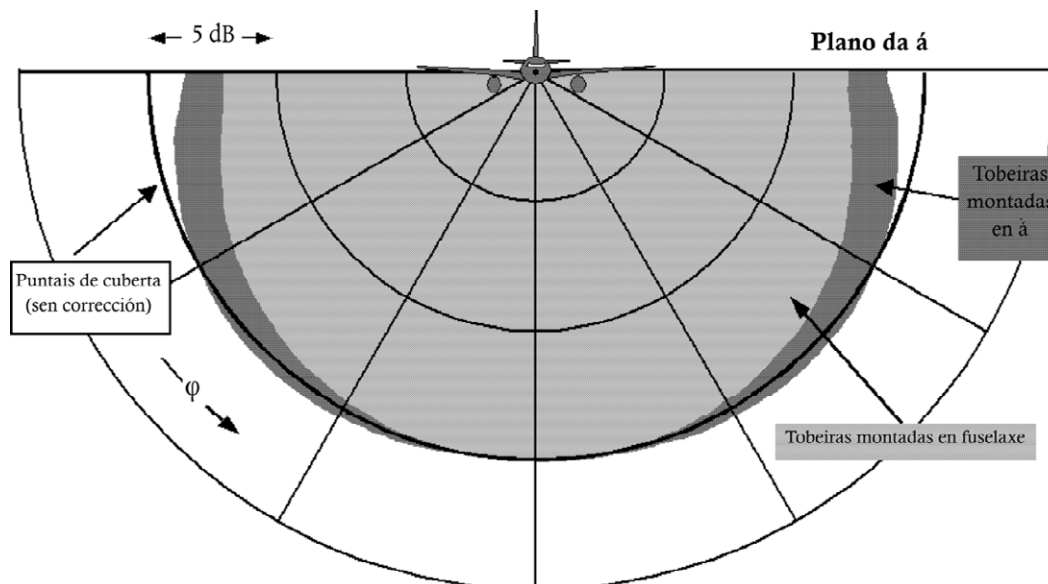
No caso dos avións con hélice, as variacións de directividade son insignificantes e, por isto, pódese supor que:

$$\Delta_I(\varphi) = 0 \quad (2.7.38)$$

Na **figura 2.7.n** móstrase a variación de $\Delta_I(\varphi)$ sobre o eixe de bambeo do avión para as tres instalacións do motor. Estas relacións empíricas obtívoas a SAE a partir de medicións empíricas realizadas principalmente debaixo da á. Ata que se analicen os datos da á superior, recoméndase que, para φ negativo, $\Delta_I(\varphi) = \Delta_I(0)$ para todas as instalacións.

²³ Se se trata de terreo non chaira, pódense dar definicións diferentes do ángulo de elevación. Neste caso, defínese mediante unha altura do avión superior ao punto de observación e á distancia oblicua, de tal forma que se ignoren as pendentes do terreo local e os obstáculos da traxectoria de propagación sonora (véxanse as seccións 2.7.6 e 2.7.10). No caso de que, debido á elevación do terreo, o punto do receptor estea por riba do avión, o ángulo de elevación β resulta igual a cero.

Figura 2.7.n
Directividade lateral dos efectos da instalación



Suponse que $\Delta_I(\varphi)$ é bidimensional, é dicir, non depende de ningún outro parámetro e, en particular, que non varía coa distancia lonxitudinal ao observador do avión. Isto significa que o ángulo de elevación β para $\Delta_I(\varphi)$ se define como $\beta = \tan^{-1}(z/\ell)$. Isto adóptase para facilitar a modelización ata que se coñezan mellor os mecanismos; en realidade, os efectos da instalación están obrigados a ser substancialmente tridimensionais. A pesar diso, xustifícase un modelo bidimensional polo feito de que os niveis do evento tenden a estar dominados polo ruído radiado cara aos lados desde o segmento máis próximo.

Atenuación lateral $\Lambda(\beta, \ell)$ (traxectoria de voo infinita).

Os niveis de eventos NPD tabulados están relacionados cun voo nivelado uniforme e, polo xeral, baséanse en medicións realizadas a 1,2 m sobre o nivel dun terreo brando debaixo do avión; o parámetro da distancia desenvólvese efectivamente por riba da superficie do terreo. Suponse que os efectos da superficie nos niveis de ruído do evento debaixo do avión, que poden dar lugar a que os niveis tabulados difiran dos valores de campo libre²⁴, son inherentes aos datos (é dicir, no perfil das curvas nivel de ruído –distancia).

Nos lados da traxectoria do voo, o parámetro da distancia é a distancia oblicua mínima —a lonxitude da normal desde o receptor ata a traxectoria do voo—. En calquera posición, o nivel de ruído polo xeral será inferior á mesma distancia inmediatamente debaixo do avión. Á parte da directividade lateral ou dos efectos da instalación descritos anteriormente, unha atenuación lateral excesiva dá lugar a que o nivel de son diminúa con máis rapidez coa distancia en comparación co que indican as curvas NPD. A Sociedade de Enxeñeiros Técnicos en Automoción (SAE) desenvolveu un método que anteriormente se utilizaba amplamente para a modelización da propagación lateral do ruído do avión en AIR-1751 e os algoritmos descritos a continuación baséanse nas melloras de AIR-5662 que actualmente recomenda a SAE. A atenuación lateral é un efecto de reflexión, debido á interferencia entre o son directamente radiado e que se reflicte desde a superficie. Depende da natureza da superficie e pode causar reducións significativas dos niveis de son observados para ángulos de elevación baixos. Tamén se ve fortemente afectada pola refracción do son, uniforme ou non uniforme, causada polas turbulencias e os gradientes de vento e temperatura que se atribúen á presenza da superficie²⁵. O mecanismo da reflexión do terreo coñécese

²⁴ Un nivel de «campo libre» é o que se observaría se a superficie de terra non estivese aí.

²⁵ As turbulencias e os gradientes de temperatura e vento dependen en certa medida das características da rugosidade e da transferencia térmica da superficie.

bastante ben e, para condicións da superficie e atmosféricas uniformes, en teoría pódese describir con certa precisión. Non obstante, a falta de uniformidades da superficie e das condicións atmosféricas — que non son susceptibles de análises teóricas sinxelas— teñen un efecto profundo no efecto de reflexión, de maneira que tende a «estendelo» a ángulos de elevación máis altos; por tanto, a teoría é de aplicabilidade limitada. A SAE continua traballando para comprender mellor os efectos da superficie, e espérase que iso derive en modelos mellorados. Ata logralo, recoméndase a seguinte metodoloxía, descrita en AIR-5662, para calcular a atenuación lateral. Limitase ao caso da propagación sonora sobre unha superficie nivelada branda que resulta apropiada para a maioría dos aeroportos civís. Aínda se están desenvolvendo os axustes para ter en conta unha superficie do terreo dura (ou, o que é o mesmo en termos acústicos, a auga).

A metodoloxía baséase en datos experimentais sobre a propagación sonora desde unha aeronave con motores montados na fuselaxe nun voo nivelado, constante e recto (sen viraxes) rexistrado inicialmente en AIR-1751. Supondo que, para voos nivelados, a atenuación aire-terra depende do i) ángulo de elevación β medido no plano vertical e do ii) desprazamento lateral con respecto á traxectoria en terra do avión ℓ , os datos analizáronse para obter unha función empírica para o axuste lateral total $\Lambda_T(\beta, \ell)$ (= nivel do evento lateral menos o nivel á mesma distancia debaixo do avión).

Como o termo $\Lambda_T(\beta, \ell)$ representaba a directividade lateral e a atenuación lateral; a última pódese extraer mediante subtracción. Describindo a directividade lateral mediante a ecuación 2.7.37, con coeficientes establecidos para *jets* montados en fuselaxe e con φ substituído por β (apropiado para voos sen viraxe), a atenuación lateral resulta:

$$\Lambda(\beta, \ell) = \Lambda_T(\beta, \ell) - \Delta_I(\beta) \quad (2.7.39)$$

onde β e ℓ se miden tal e como se ilustra na **figura 2.7.m** nun plano normal á traxectoria de voo infinita que, para voos nivelados, tamén é vertical.

Aínda que $\Lambda(\beta, \ell)$ se podería calcular directamente mediante a ecuación 2.7.39 con $\Lambda_T(\beta, \ell)$ obtido de AIR-1751, recoméndase unha relación máis eficiente. Trátase da seguinte aproximación empírica adaptada desde AIR-5662:

$$\Lambda(\beta, \ell) = \Gamma(\ell) \cdot \Lambda(\beta) \quad (2.7.40)$$

onde $\Gamma(\ell)$ é un factor de distancia obtido mediante:

$$\Gamma(\ell) = 1,089 \cdot [1 - \exp(-0,00274\ell)] \quad \text{para } 0 \leq \ell \leq 914 \text{ m} \quad (2.7.41)$$

$$\Gamma(\ell) = 1 \quad \text{para } \ell > 914 \text{ m} \quad (2.7.42)$$

e $\Lambda(\beta)$ é a atenuación lateral aire-terra de longa distancia calculada mediante

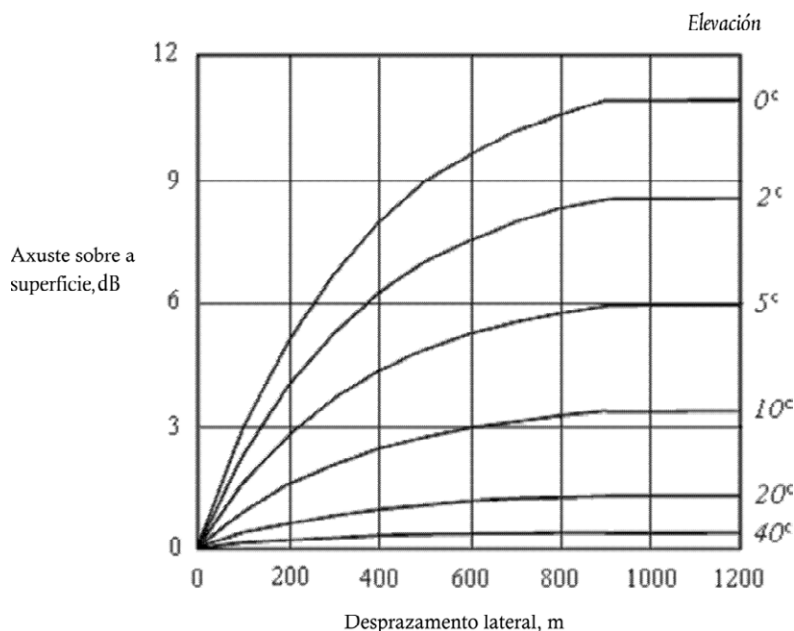
$$\Lambda(\beta) = 1,137 - 0,0229\beta + 9,72 \cdot \exp(-0,142\beta) \quad \text{para } 0^\circ \leq \beta \leq 50^\circ \quad (2.7.43)$$

$$\Lambda(\beta) = 0 \quad \text{para } 50^\circ \leq \beta \leq 90^\circ \quad (2.7.44)$$

A expresión para a atenuación lateral $\Lambda(\beta, \ell)$, a ecuación 2.7.40, que se supón que se axusta ben para todos os avións, avións con hélice e avións con montaxe en fuselaxe e en ás, ilústrase graficamente na **figura 2.7.o**.

En determinadas circunstancias (con terreo), é posible que β sexa menor que cero. En tales casos, recoméndase que $\Lambda(\beta) = 10,57$.

Figura 2.7.o
Variación da atenuación lateral $\Lambda(\beta, \ell)$ coa distancia e o ángulo de elevación



Atenuación lateral de segmentos finitos.

As ecuacións 2.7.41 a 2.7.44 describen a atenuación lateral $\Lambda(\beta, \ell)$ do son que chega ao observador desde o avión nun voo uniforme ao longo dunha traxectoria de voo nivelada e infinita. Ao aplicalas a segmentos de traxectoria finitos que non están nivelados, a atenuación debe calcularse para unha traxectoria nivelada equivalente —xa que o punto máis próximo dunha extensión simple do segmento inclinado (que pasa a través da superficie de terra nun determinado punto) normalmente non ofrece un ángulo de elevación apropiado β .

A determinación da atenuación lateral para segmentos finitos difire significativamente para os índices L_{\max} e L_E . Os niveis máximos do segmento L_{\max} determinanse a partir dos datos NPD como unha función da distancia de propagación d a partir do punto máis próximo do segmento; non é preciso realizar correccións para ter en conta as dimensións do segmento. Así mesmo, suponse que a atenuación lateral L_{\max} depende só do ángulo de elevación do mesmo punto e tamén da distancia de terreo. Por tanto, só se necesitan as coordenadas do dito punto. Pero para L_E , o proceso é máis complicado.

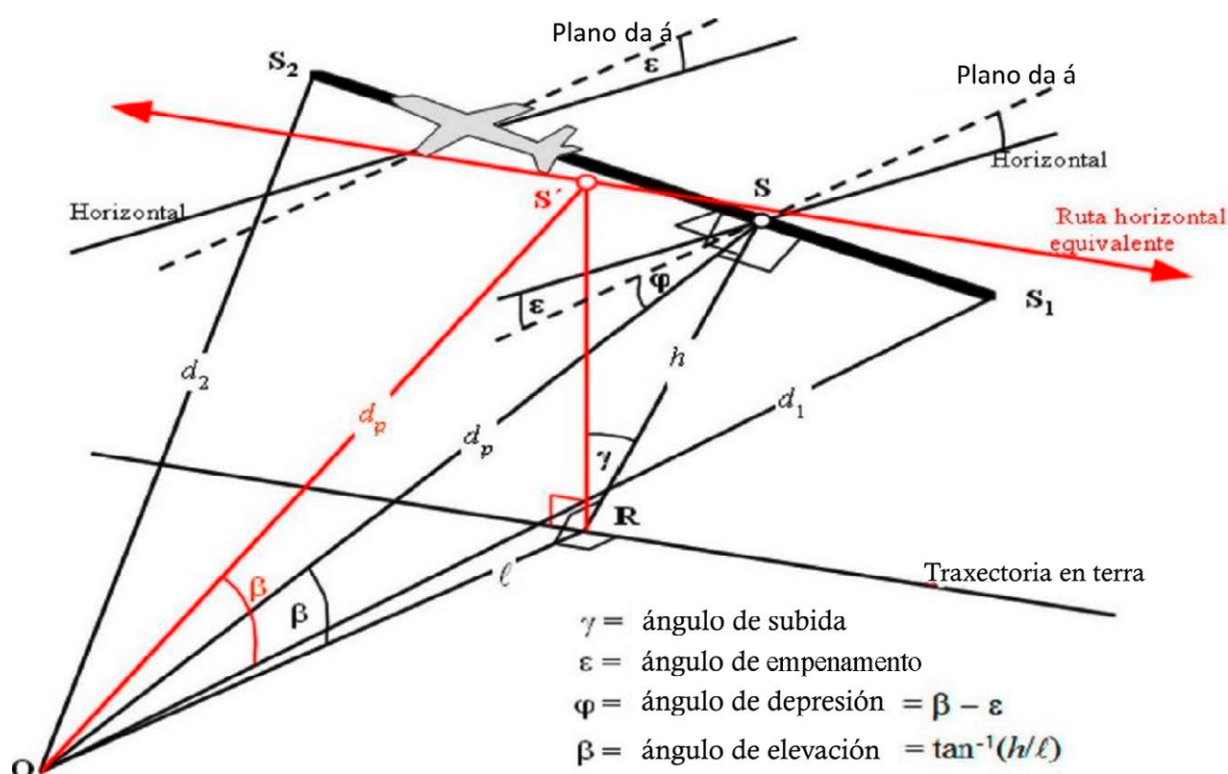
O nivel do evento básico $L_E(P, d)$ determinado a partir dos datos NPD, mesmo para parámetros de segmentos finitos, refírese a unha traxectoria de voo infinita. Evidentemente, o nivel de exposición sonora do evento, $L_{E, \text{seg}}$, é evidentemente inferior ao nivel básico —debido á corrección do segmento finito definida máis adiante na sección 2.7.19—. A dita corrección, unha función da xeometría de triángulos OS_1S_2 tal e como se reflicte nas **figuras 2.7.j a 2.7.l**, define que proporción da enerxía sonora total da traxectoria infinita recibida en O procede do segmento; aplícase a mesma corrección, independentemente de que haxa ou non algunha atenuación lateral. Pero todas as atenuacións laterais se deben calcular para a traxectoria de voo infinita, é dicir, como unha función do seu desprazamento e a súa elevación, pero non para o segmento finito.

Sumando as correccións Δ_V e Δ_I , e restando a atenuación lateral $\Lambda(\beta, \ell)$ ao nivel básico NPD, obtense o nivel de ruído do evento axustado para un voo nivelado uniforme equivalente sobre unha traxectoria recta infinita adxacente. Non obstante, os segmentos da traxectoria de voo real modelizados, os que afectan as curvas de nivel de ruído, rara vez están nivelados; o avión adoita ascender ou descender.

Na **figura 2.7.p** ilústrase un segmento de saída S_1S_2 —o avión ascende a un ángulo γ —, pero as consideracións son moi similares para unha chegada. Non se mostra o resto da traxectoria de voo «real»; basta con destacar que S_1S_2 representa só unha parte de toda a traxectoria (que polo xeral será curvada). Neste caso, o observador O está a un lado do segmento e á súa

esquerda. O avión experimenta un movemento de empenamento (movemento en sentido contrario ás agullas do reloxo sobre a traxectoria do voo) a un ángulo ε no eixe horizontal lateral. O ángulo de depresión φ desde o plano da á, do cal o efecto da instalación Δ_I é unha función (ecuación 2.7.39), encóntrase no plano normal da traxectoria do voo en que se define ε . Por tanto, $\varphi = \beta - \varepsilon$, onde $\beta = \tan^{-1}(h/\ell)$ e ℓ é a distancia perpendicular **OR** desde o observador ata a traxectoria en terra; é dicir, o desprazamento lateral do observador²⁶. O punto de aproximación máis próximo do avión ao observador, **S**, defínese mediante a perpendicular **OS**, de lonxitude (distancia oblicua) d_p . O triángulo **OS₁S₂** atense á ilustración da **figura 2.7.k**, a xeometría para calcular a corrección do segmento Δ_F .

Figura 2.7.p
Observador a un lado do segmento

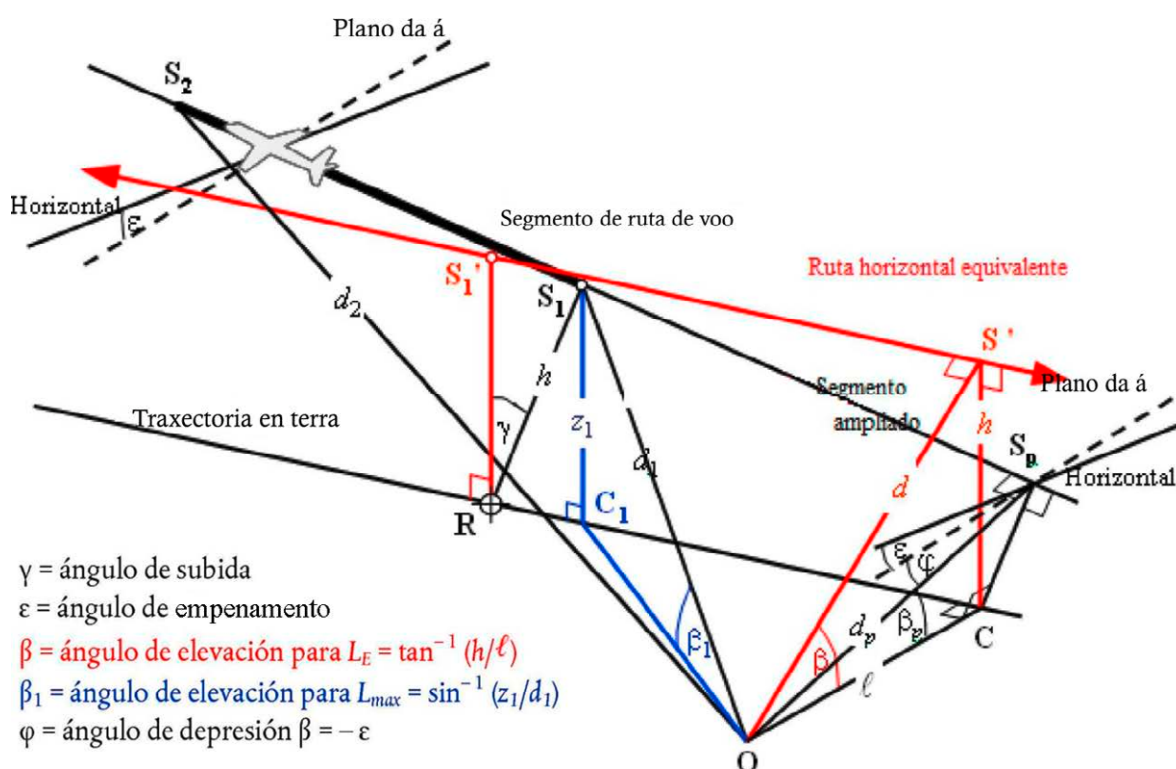


Para calcular a atenuación lateral mediante a ecuación 2.7.40 (onde β se mide nun plano vertical), unha traxectoria de voo nivelado equivalente defínese no plano vertical a través de **S₁S₂** e coa mesma distancia oblicua perpendicular d_p desde o observador. Isto visualízase rotando o triángulo **ORS**, e a súa traxectoria de voo relacionada, sobre **OR** (véxase a **figura 2.7.p**) xirándoo un ángulo γ , formando así o triángulo **ORS'**. O ángulo de elevación desta traxectoria nivelada equivalente (agora nun plano vertical) é $\beta = \tan^{-1}(h/\ell)$ (ℓ permanece invariable). Neste caso, co observador ao lado, a atenuación lateral $\Lambda(\beta, \ell)$ é a mesma para os índices L_E e L_{max} .

Na **figura 2.7.q** ilústrase a situación cando o punto do observador **O** se encontra detrás do segmento finito, e non nun lado. Neste caso, o segmento obsérvase como un tramo máis distante dunha traxectoria infinita; só se pode debuxar unha perpendicular ata o punto **S_p** sobre a súa extensión. O triángulo **OS₁S₂** atense ao que se ilustra na **figura 2.7.j**, que define a corrección do segmento Δ_F . Non obstante, neste caso, os parámetros da directividade lateral e da atenuación son menos evidentes.

²⁶ Se se trata dun observador situado no lateral dereito do segmento φ resultaría $\beta + \varepsilon$ (véxase a sección 2.7.19).

Figura 2.7.q
Observador detrás do segmento



Convén recordar que, considerada para os efectos de modelización, a directividade lateral (efecto da instalación) é bidimensional, o ángulo de depresión definido ϕ mídese en lateral a partir do plano da á do avión. (O nivel do evento básico é o que resulta da travesía do avión pola traxectoria de voo infinita representada mediante o segmento ampliado). Desta forma, determínase o ángulo de depresión no punto de aproximación máis próximo, é dicir, $\phi = \beta_p - \epsilon$, onde β_p é o ángulo S_pOC .

Para índices de nivel máximo, o parámetro de distancia NPD considérase como a distancia máis curta ata o segmento, é dicir, $d = d_1$. Para índices do nivel de exposición, trátase da distancia máis curta d_p de O a S_p sobre a traxectoria de voo ampliada; é dicir, o nivel interpolado a partir das táboas NPD é $L_{E_{ex}}(P_1, d_p)$.

Os parámetros xeométricos para a atenuación lateral tamén difiren para os cálculos do nivel máximo e de exposición. Para índices do nivel máximo, o axuste $\Lambda(\beta, \ell)$ resulta da ecuación 2.7.40 con $\beta = \beta_1 = \sin^{-1}(z_1/d_1)$ e $\ell = OC_1 = \sqrt{d_1^2 - z_1^2}$, onde β_1 e d_1 se definen mediante o triángulo OC_1S_1 no plano vertical a través de O e S_1 .

Ao calcular a atenuación lateral dos segmentos aéreos soamente e o índice do nivel de exposición, ℓ é o desprazamento lateral máis cuto desde a extensión do segmento (OC). Non obstante, para definir un valor apropiado de β , unha vez máis resulta necesario visualizar unha traxectoria de voo nivelada equivalente (infinita), na cal o segmento se poida considerar como unha parte integrante. Debúxase a través de S_1' , cunha altura h por riba da superficie, onde h é igual á lonxitude de RS_1 , a perpendicular desde a traxectoria en terra ata o segmento. Isto equivale á rotación da traxectoria de voo real ampliada virándoa un ángulo γ sobre o punto R (véxase a figura 2.7.q). Na medida en que R se encontre na perpendicular a S_1 , o punto do segmento máis próximo a O , a construción da traxectoria nivelada equivalente é a mesma cando O está a un lado do segmento.

O punto de aproximación máis próximo da traxectoria nivelada equivalente ao observador **O** encóntrase en **S'**, cunha distancia oblicua d , de tal forma que o triángulo **OCS'** formado no plano vertical defina o ángulo de elevación $\beta = \cos^{-1}(\ell/d)$. Aínda que esta transformación parece ser bastante arrevesada, cabe destacar que a xeometría da fonte básica (definida mediante d_1 , d_2 e φ) permanece inalterada, o son que viaxa desde o segmento cara ao observador é simplemente o que sería se todo o voo a través do segmento inclinado cunha extensión infinita (do que forma parte o segmento para os efectos de modelización) se realizase a unha velocidade constante V e cunha potencia P_1 . A atenuación lateral do son desde o segmento recibida polo observador, por outra banda, non está relacionada co ángulo de elevación β_p , da traxectoria ampliada, senón con β , da traxectoria nivelada equivalente.

O caso dun observador diante do segmento non se describe por separado; é evidente que se trata basicamente do mesmo caso que cando o observador está detrás.

Non obstante, para os índices do nivel de exposición en que as localizacións do observador están detrás dos segmentos en terra durante a rodaxe antes da engalaxe e as localizacións que están diante dos segmentos en terra durante a rodaxe despois da aterraxe, o valor de β resulta ser o mesmo que para os índices de nivel máximo, é dicir, $\beta = \beta_1 = \sin^{-1}(z_1/d_1)$ e $\ell = OC_1 = \sqrt{d_1^2 - z_1^2}$

Corrección de segmentos finitos Δ_F (só para niveis de exposición L_E).

O nivel de exposición ao ruído básico axustado está relacionado cun avión que segue un voo nivelado uniforme, recto e constante (aínda que cun ángulo de empenamento ε que está en consonancia cun voo recto). Coa aplicación da corrección do segmento finito (negativa) $\Delta_F = 10 \times \lg(F)$, onde F é a fracción de enerxía, axústase aínda máis o nivel que se conseguiría se o avión percorrese só o segmento finito (ou se fose totalmente silencioso para o resto da traxectoria de voo infinita).

O termo «fracción de enerxía» ten en conta a directividade lonxitudinal pronunciada do ruído dun avión e o ángulo subtendido polo segmento na posición do observador. A pesar de que os procesos que causan a direccionalidade son moi complexos, os estudos revelaron que as curvas de nivel de ruído resultantes son bastante pouco sensibles ás características direccionais precisas asumidas. A expresión de Δ_F que se indica a continuación baséase nun modelo dipolar de 90 graos de potencia cuarta. Suponse que non se ve afectado pola directividade lateral nin pola atenuación. A forma en que se calcula a corrección descríbese detalladamente no **apéndice E**.

A fracción de enerxía F é unha función da «vista» de triángulo **OS₁S₂** definida nas **figuras 2.7.j a 2.7.l** como:

$$\Delta_F = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{\pi} \left(\frac{\alpha_2}{1 + \alpha_2^2} + \arctan \alpha_2 - \frac{\alpha_1}{1 + \alpha_1^2} - \arctan \alpha_1 \right) \right] \quad (2.7.45)$$

Con

$$\alpha_1 = -\frac{q}{d_\lambda}; \quad \alpha_2 = -\frac{q - \lambda}{d_\lambda}; \quad d_\lambda = d_0 \cdot 10^{[L_{E\infty}(P,d_p) - L_{\max}(P,d_p)]/10}; \quad d_0 = \frac{2}{\pi} \cdot V_{ref} \cdot t_0.$$

onde d_λ se considera como a «distancia á escala» (véxase o **apéndice E**). Teñase en conta que $L_{\max}(P, d_p)$ é o nivel máximo, a partir dos datos de NPD, para a distancia perpendicular d_p , NO o segmento L_{\max} .

É aconsellable aplicar un límite inferior de — 150 dB a Δ_F .

No caso particular de que as localizacións do observador se encontren detrás de cada segmento de rodaxe de desprazamento en terra antes da engalaxe e de cada segmento de desprazamento en terra firme na aterraxe, úsase unha forma reducida da fracción do ruído expresada na ecuación 2.7.45, que se corresponde co caso específico de $q = 0$. Isto calcúlase como segue:

$$\Delta_{F'} = 10 \log_{10} \left[\left(\frac{1}{\pi} \right) \left[\alpha_2 / (1 + \alpha_2^2) + \tan^{-1} \alpha_2 \right] 10^{ASOR/10} \right] \quad (2.7.46)$$

onde $\alpha_2 = \lambda/d\lambda$ e Δ_{SOR} é a función da directividade do punto de partida de rodaxe definida polas ecuacións 2.7.51 e 2.7.52.

A formulación para utilizar esta forma particular da fracción de ruído explícase máis a fondo na seguinte sección, como parte do método da aplicación da directividade do punto de partida de rodaxe.

Tratamentos específicos dos segmentos de desprazamentos en terra, incluída a función da directividade do punto de partida de rodaxe Δ_{SOR} .

No caso dos segmentos de desprazamento en terra firme, tanto para a engalaxe como para a aterraxe, aplícanse tratamentos específicos, que se describen a continuación.

Función da directividade de inicio de rodaxe Δ_{SOR} .

O ruído do reactor —en particular os equipados con motores cunha relación de derivación inferior— mostra un modelo de radiación lobulada no arco posterior, que é característico do ruído de escape do reactor. Este modelo é máis importante canto máis alta sexa a velocidade do reactor e máis baixa sexa a velocidade do avión. Isto reviste unha importancia particular para as localizacións do observador detrás do punto de partida de rodaxe, cando se cumbran ambas as condicións. Este efecto tense en conta mediante unha función de directividade Δ_{SOR} .

A función Δ_{SOR} calculouse a partir de varias campañas de medicións de ruído mediante a utilización de micrófonos correctamente colocados detrás e no lateral do punto de partida de rodaxe do reactor que se dispón a saír.

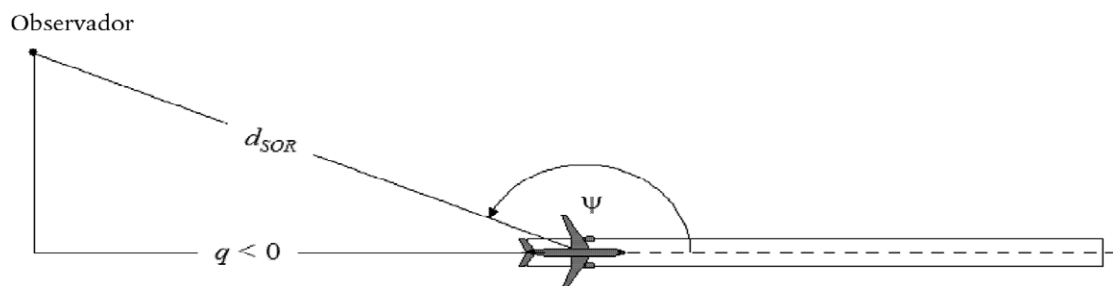
Na **figura 2.7.r** ilústrase a xeometría pertinente. O ángulo de acimut ψ entre o eixe lonxitudinal do avión e o vector para o observador defínese como segue:

$$\psi = \arccos\left(\frac{q}{d_{SOR}}\right). \quad (2.7.47)$$

A distancia relativa q é negativa (véxase a **figura 2.7.j**), de tal forma que os intervalos ψ desde 0° na dirección do avión que segue o seu rumbo ata 180° na dirección inversa.

Figura 2.7.r

Xeometría en terra do observador do avión para a estimación da corrección da directividade



A función Δ_{SOR} representa a variación do ruído total que produce o desprazamento en terra firme antes da engalaxe medido detrás o punto de partida de rodaxe, en relación co ruído total do desprazamento en terra firme antes da engalaxe medido no lateral do punto de partida de rodaxe, á mesma distancia:

$$L_{TGR}(d_{SOR}, \psi) = L_{TGR}(d_{SOR}, 90^\circ) + \Delta_{SOR}(d_{SOR}, \psi) \quad (2.7.48)$$

onde $L_{TGR}(d_{SOR}, 90^\circ)$ é o nivel de ruído xeral do desprazamento en terra firme antes da engalaxe que xeran todos os segmentos do desprazamento en terra firme antes da engalaxe á distancia puntual d_{SOR} no lateral do punto de partida de rodaxe. A distancias d_{SOR} inferiores á distancia normalizada $d_{SOR,0}$, a función da directividade do punto de partida de rodaxe obtense de:

$$\Delta_{SOR}^0 = 51,47 - 1,553 \cdot \psi + 0,015147 \cdot \psi^2 - 0,000047173 \cdot \psi^3 \quad \text{se } 90^\circ \leq \psi < 148,4^\circ \quad (2.7.49)$$

$$\Delta_{SOR}^0 = 339,18 - 2,5802 \cdot \psi - 0,0045545 \cdot \psi^2 + 0,000044193 \cdot \psi^3 \quad \text{se } 148,4^\circ \leq \psi \leq 180^\circ \quad (2.7.50)$$

Se a distancia d_{SOR} excede a distancia de normalización $d_{SOR,0}$, a corrección da directividade multiplícase mediante un factor de corrección para ter en conta o feito de que a directividade reviste menor importancia para distancias máis longas do avión; é dicir:

$$\Delta_{SOR} = \Delta_{SOR}^0 \quad \text{se } d_{SOR} \leq d_{SOR,0} \quad (2.7.51)$$

$$\Delta_{SOR} = \Delta_{SOR}^0 \cdot \frac{d_{SOR,0}}{d_{SOR}} \quad \text{se } d_{SOR} > d_{SOR,0} \quad (2.7.52)$$

A distancia de normalización $d_{SOR,0}$ é igual a 762 m (2 500 ft).

Tratamento dos receptores situados detrás do segmento de desprazamento en terra firme na engalaxe e na aterraxe.

A función Δ_{SOR} descrita anteriormente captura en gran medida o efecto da directividade pronunciada do tramo inicial da rodaxe na engalaxe en localizacións por detrás do inicio de rodaxe (porque se trata do punto máis próximo aos receptores, coa máxima velocidade do reactor con respecto á relación de transmisión do avión). Non obstante, o uso de Δ_{SOR} establecido «xeneralízase» para as posicións detrás de cada segmento individual de desprazamento en terra firme, tanto para a engalaxe como para a aterraxe, de tal maneira que non só se ten en conta detrás do punto de inicio de rodaxe (no caso da engalaxe).

Os parámetros d_S e ψ calcúlanse en relación co inicio de cada segmento individual de desprazamento en terra firme.

O nivel do evento L_{seg} para unha localización por detrás dun segmento de desprazamento en terra firme ao engalar ou aterraxar calcúlase para cumprir cos formalismos da función Δ_{SOR} : basicamente calcúlase para o punto de referencia situado no lateral do punto inicial do segmento, á mesma distancia d_S que o punto real, e axústase aínda máis a Δ_{SOR} para obter o nivel do evento no punto real.

Isto significa que os diferentes termos de corrección das ecuacións seguintes deben usar os parámetros xeométricos correspondentes a este punto de referencia situado no lateral do punto inicial:

$$L_{max,seg} = L_{max}(P, d = d_S) + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, l = d_S) + \Delta_{SOR} \quad (2.7.53)$$

$$L_{E,seg} = L_{E,\infty}(P, d = d_S) + \Delta_V + \Delta_I(\varphi) - \Lambda(\beta, l = d_S) + \Delta'_F + \Delta_{SOR} \quad (2.7.54)$$

onde Δ'_F é a forma reducida da fracción de ruído expresada na ecuación $q = 0$ (xa que o punto de referencia se encontra no lateral do punto inicial) e recordando que d_λ debe calcularse usando d_S (e non d_p):

$$d_\lambda = d_0 \cdot 10^{[L_{E,\infty}(P, d_S) - L_{max}(P, d_S)]/10} \quad (2.7.55)$$

2.7.20. Nivel de ruído dun evento L do movemento dunha aeronave da aviación xeral.

O método descrito na sección 2.7.19 é aplicable a aeronaves de aviación xeral con motores de propulsión cando se tratan como avións deste tipo con respecto aos efectos da instalación do motor.

A base de datos ANP inclúe entradas de aeronaves de varias aeronaves de aviación xeral. Ben que se trata do funcionamento máis común da aeronave da aviación xeral, poden darse ocasións en que resulte conveniente usar datos adicionais.

Se a aeronave da aviación xeral específica non se coñece ou non se encontra na base de datos de ANP, recoméndase usar os datos máis xenéricos da aeronave, GASEPF e GASEPV, respectivamente. Estes conxuntos de datos representan unha aeronave pequena de aviación xeral dun único motor con hélices de paso fixo e hélices de paso variable, respectivamente. Os cadros das entradas preséntanse no anexo I (cadros I-11, I-17).

2.7.21. Método para calcular o ruído dos helicópteros.

Para calcular o ruído dos helicópteros, pódese usar o mesmo método de cálculo utilizado para os avións de á fixa (descrito na sección 2.7.14), sempre que os helicópteros se consideren avións con hélices e que non se apliquen os efectos da instalación do motor asociados con reactores. Os cadros das entradas para dous conxuntos de datos diferentes preséntanse no anexo I (cadros I-18, I-27).

2.7.22. Ruído asociado con operacións de probas do motor (proba en terra para control), rodaxe e unidades de potencia auxiliares.

En tales casos en que se considere que o ruído asociado coas probas do motor e as unidades de potencia auxiliares se van modelizar, a modelización realízase segundo as indicacións do capítulo dedicado ao ruído industrial. Aínda que non adoita ser o caso, o ruído das probas do motor do avión (o que ás veces se denomina «proba de motor a punto fixo») nos aeroportos pode contribuir aos impactos do ruído. Estas probas acostuman realizarse para efectos de enxeñaría co fin comprobar o rendemento do motor, para o cal se colocan os avións en zonas seguras lonxe dos edificios e dos movementos de avións, vehículos e persoal, co fin de evitar danos orixinados polo chorro do reactor.

Por motivos adicionais para o control da seguridade e do ruído, os aeroportos, en particular os que dispoñen de instalacións de mantemento que poden comportar frecuentes ensaios de motores, poden instalar as denominadas «pantallas antirruído», é dicir, recintos dotados con deflectores en tres lados especialmente deseñadas para desviar e disipar o ruído e o chorro dos gases de combustión. A investigación do impacto do ruído de tales instalacións, que se pode atenuar e reducir mediante o uso de muros de terra ou barreiras acústicas, resulta máis sinxela se se trata o recinto de probas como unha fonte de ruído industrial e se se usa un modelo apropiado de propagación sonora.

2.7.23. Cálculo dos niveis acumulados.

Nas seccións 2.7.14 a 2.7.19 descríbese o cálculo do nivel de ruído do evento dun movemento dun avión nunha única localización do observador. A exposición ao ruído total na dita localización calcúlase mediante a suma dos niveis do evento de todos os movementos do avión significativos desde o punto de vista do ruído, é dicir, todos os movementos, entrantes e saíntes, que inflúen no nivel acumulado.

2.7.24. Niveis sonoros continuos equivalentes ponderados.

Os niveis sonoros continuos equivalentes ponderados no tempo, que teñen en conta toda a enerxía sonora do avión recibida, deben expresarse de maneira xenérica mediante a fórmula:

$$L_{eq,W} = 10 \cdot \lg \left[\frac{t_0}{T_0} \cdot \sum_{i=1}^N g_i \cdot 10^{L_{E,i}/10} \right] + C \quad (2.7.56)$$

A suma realízase para todos os eventos sonoros N durante o intervalo de tempo ao cal se aplica o índice de ruído. $L_{E,i}$ é o nivel de exposición ao ruído de evento simple do evento acústico i ; g_i é un factor de ponderación que depende do período do día (que adoita definirse para os períodos do día, da tarde e da noite). Efectivamente, g_i é un multiplicador do número de voos que se producen durante os períodos específicos. A constante C pode ter significados diferentes (constante de normalización, axuste estacional, etc.).

Usando a relación

$$g_i = 10^{\Delta_i/10}$$

onde Δ_i é a ponderación en decibels para o período i ; pódese volver definir a ecuación 2.7.56 como:

$$L_{eq,W} = 10 \cdot \lg \left[\frac{t_0}{T_0} \sum_{i=1}^N 10^{(L_{E,i} + \Delta_i)/10} \right] + C \quad (2.7.57)$$

É dicir, a consideración do día exprésase mediante un incremento adicional do nivel.

2.7.25. Número ponderado de operacións.

O nivel de ruído acumulado calcúlase mediante a suma das contribucións de todos os tipos ou categorías diferentes de avións usando as diferentes rutas aéreas que conforman o escenario do aeroporto.

Para describir este proceso de suma, introdúcense os seguintes subíndices:

i índice do tipo ou da categoría do avión

j índice da traxectoria ou subtraxectoria do voo (no caso de que se definan subtraxectorias)

k índice do segmento da traxectoria do voo

Moitos índices de ruído —especialmente os niveis sonoros continuos equivalentes— inclúen na súa propia definición factores de ponderación do período do día g_i (ecuacións 2.7.56 e 2.7.57).

O proceso de suma pódese simplificar mediante a introdución dun «número ponderado de operacións»

$$M_{ij} = (g_{day} \cdot N_{ij,day} + g_{evening} \cdot N_{ij,evening} + g_{night} \cdot N_{ij,night}) \quad (2.7.58)$$

Os valores N_{ij} representan os números de operacións do tipo ou categoría de avión i na traxectoria (ou subtraxectoria) j durante o día, a tarde e a noite, respectivamente²⁷.

A partir da ecuación (2.7.57), o nivel d (xenérico) o nivel sonoro continuo equivalente acumulativo L_{eq} no punto de observación (x, y) é

$$L_{eq,W}(x,y) = 10 \cdot \lg \left[\frac{t_0}{T_0} \cdot \sum_i \sum_j \sum_k M_{ij} \cdot 10^{L_{E,ijk}(x,y)/10} \right] + C \quad (2.7.59)$$

T_0 é o período de tempo de referencia. Depende da definición específica do índice ponderado utilizado (e.g. L_{DEN}), así como dos factores de ponderación (por exemplo, L_{DEN}). $L_{E,ijk}$ é a contribución do nivel de exposición ao ruído de evento simple do segmento k da traxectoria ou subtraxectoria j para a operación dun avión da categoría i . O cálculo de $L_{E,ijk}$ descríbese de maneira detallada nas seccións 2.7.14 a 2.7.19.

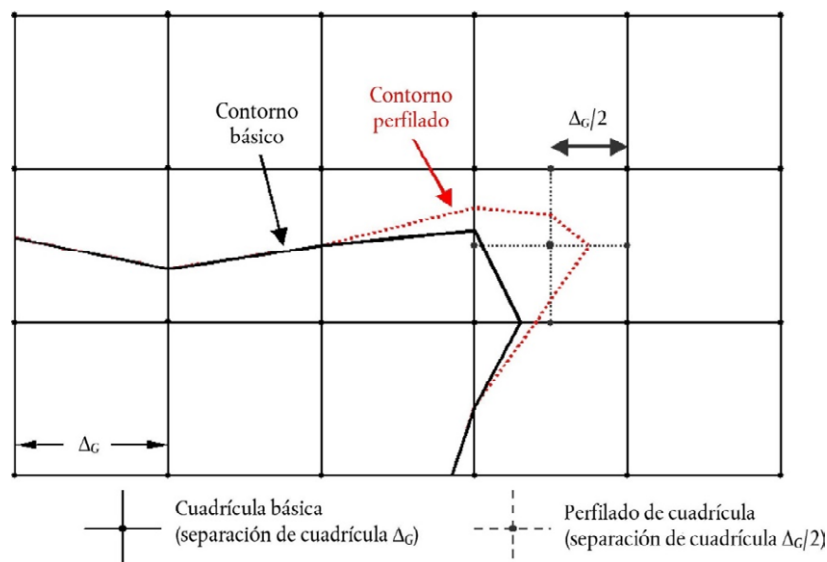
2.7.26. Cálculo e axuste dunha malla estándar.

Cando as curvas de nivel de ruído (isófonas) se obteñen mediante a interpolación entre os valores do índice nos puntos dunha malla en forma rectangular, a súa precisión depende da elección da separación da cuadrícula (ou do paso da malla) Δ_G , en particular no interior das celas en que os gradientes grandes da distribución espacial dos valores do índice causan unha forte

²⁷ Os períodos de tempo poden diferir destes tres, en función da definición do índice de ruído utilizado.

curvatura das isófonas (véxase a **figura 2.7.s**). Os erros de interpolación redúcense diminuíndo o paso de malla, pero a medida que aumenta o número de puntos da cuadrícula tamén aumenta o tempo de cálculo. A optimización dunha malla de cuadrícula regular implica equilibrar a precisión da modelización e o tempo de execución.

Figura 2.7.s
Cuadrícula estándar e axuste da cuadrícula



Unha mellora importante na eficacia do cálculo que ofrece resultados máis precisos é utilizar unha cuadrícula irregular para axustar a interpolación en celas importantes. A técnica, ilustrada na **figura 2.7.s**, consiste en reforzar a malla localmente, deixando invariable a maior parte da cuadrícula. Trátase dunha operación moi sinxela, que se consegue cos seguinte pasos:

1. Defínese unha diferenza do limiar de axuste ΔL_R para o índice de ruído.
2. Calcúlase a cuadrícula básica para unha separación ΔG .
3. Compróbanse as diferenzas ΔL dos valores do índice entre os nós adxacentes da rede.
4. Se hai algunha diferenza $\Delta L > \Delta L_R$, defínese unha nova rede cunha separación $\Delta G/2$ e calcúlanse os niveis dos novos nós da seguinte forma:

$$\text{se } \begin{cases} \Delta L \leq \Delta L_R \\ \Delta L > \Delta L_R \end{cases} \quad \text{calcúlese o novo valor} \quad \begin{cases} \text{por interpolación lineal a partir de} \\ \text{nós adxacentes} \\ \text{recorrendo directamente aos datos} \\ \text{base utilizados} \end{cases}$$

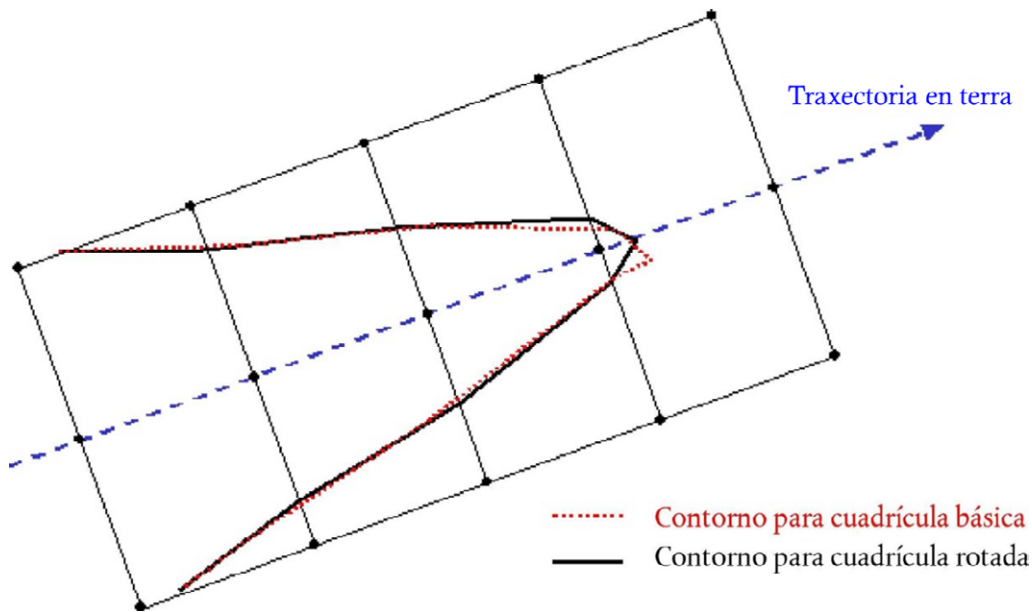
5. Repítense os pasos de 1 a 4 ata que todas as diferenzas sexan menores que a diferenza do limiar.
6. Calcúlanse as isófonas mediante unha interpolación lineal.

Se a matriz dos valores de índice se vai agregar a outras (por exemplo, ao calcular índices ponderados mediante a suma de curvas de nivel de ruído independentes do día, a tarde e a noite), cómpre proceder con precaución para garantir que as redes independentes sexan idénticas.

2.7.27. Uso de mallas rotadas.

En moitos casos prácticos, a forma real das curvas de nivel de ruído tende a ser simétrica respecto á traxectoria en terra. Non obstante, se a dirección desta traxectoria non está aliñada coa malla de cálculo, isto pode dar lugar a unha forma de isófona asimétrica.

Figura 2.7.t
Uso dunha malla rotada

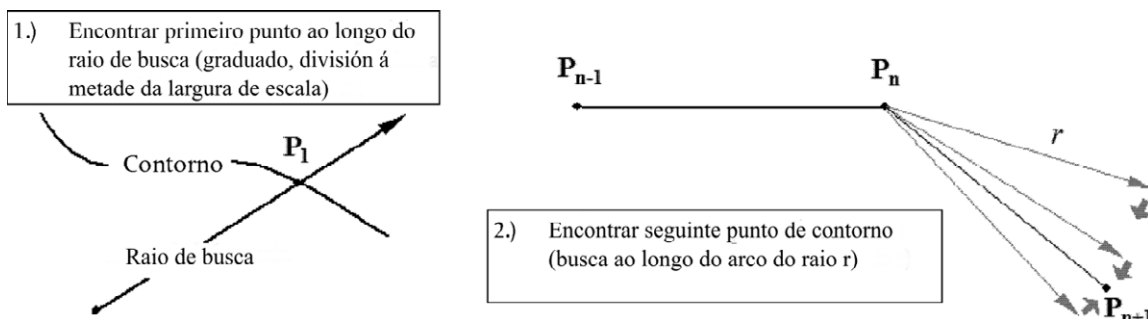


Unha forma sinxela de evitar este efecto é incrementar os nodos da malla. Non obstante, isto aumenta o tempo de cálculo. Unha solución máis elegante consiste en xirar a cuadrícula de cálculo, de tal maneira que a súa dirección sexa paralela ás traxectorias en terra principais (que acostuman ser paralelas á pista principal). Na **figura 2.7.t** móstrase o efecto da rotación da malla na forma da isófona.

2.7.28. Trazado das curvas de nivel de ruído (isófonas).

Un algoritmo moi eficaz en termos de tempo que elimina a necesidade de calcular a matriz dos valores de índice dunha malla completa a expensas dun cálculo algo máis complexo é trazar a liña das curvas de nivel de ruído, punto por punto. Esta opción require que se apliquen e repitan dous pasos básicos (véxase a **figura 2.7.u**):

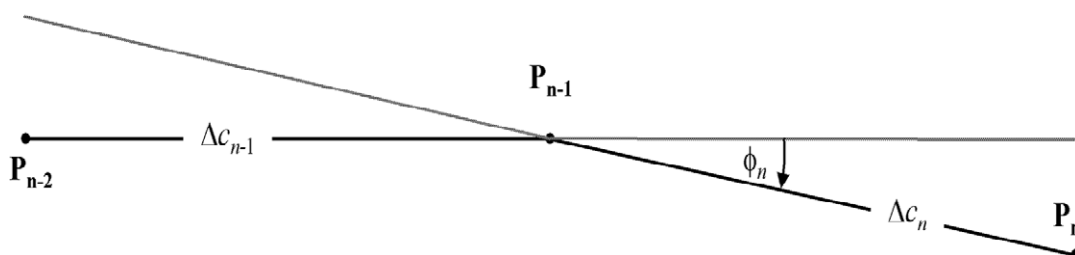
Figura 2.7.u
Concepto de algoritmo trazador



O paso 1 consiste en encontrar un primeiro punto P_1 dunha determinada isófona. Para iso, calcúlanse os niveis do índice de ruído L en puntos equidistantes ao longo do «raio de busca» que se espera que cruce esta isófona L_C . Cando esta se cruza, a diferenza $\delta = L_C - L$ cambia de signo. Entón, divídese á metade o largo do paso ao longo do raio e invértese a dirección da busca. Repítase o proceso ata que δ é máis pequeno que o limiar de precisión predefinido.

O paso 2, que se repite ata que a curva de nivel de ruído está suficientemente ben definida, consiste en encontrar o próximo punto no contorno L_C , que se encontra a unha distancia en liña recta específica r do punto actual. Procédese con pasos angulares consecutivos, calculándose os niveis de índice e as diferenzas δ nos extremos dos vectores que describen un arco con raio r . De maneira similar á anterior, ao reducir á metade e invertir os incrementos, nesta ocasión nas direccións do vector, o próximo punto do contorno determínase conforme unha precisión predefinida.

Figura 2.7.v
Parámetros xeométricos que definen as condicións para o algoritmo trazador



Débense impor determinadas restricións para garantir que a curva de nivel de ruído se calcula cun grao suficiente de precisión (véxase a **figura 2.7.v**):

- 1) A lonxitude da corda Δc (a distancia entre os dos puntos da curva de nivel de ruído) debe encadrarse dentro dun intervalo $[\Delta c_{\min}, \Delta c_{\max}]$, por exemplo [10 m, 200 m].
- 2) A proporción de lonxitude entre as dúas cordas adxacentes de lonxitudes Δc_n e Δc_{n+1} débese limitar, por exemplo $0,5 < \Delta c_n / \Delta c_{n+1} < 2$.
- 3) Con respecto a un bo axuste da lonxitude da corda á curvatura da isófona, débese cumprir a seguinte condición:

$$\Phi_n \cdot \max(\Delta c_{n-1}, \Delta c_n) \leq \varepsilon \quad (\varepsilon \approx 15 \text{ m})$$

onde Φ_n é a diferenza nos rumbos da corda.

A experiencia con este algoritmo revelou que, como media, se deben calcular entre dous e tres valores de índice para determinar un punto da curva cunha precisión superior a 0,01 dB.

Especialmente cando se teñen que calcular curvas de nivel amplas, este algoritmo acelera significativamente o tempo de cálculo. Non obstante, cabe destacar que esta aplicación precisa de experiencia, sobre todo cando unha curva de nivel de ruído se divide en illas separadas.

2.8. Asignación de niveis de ruído e poboación aos edificios.

Para os efectos de avaliar a exposición da poboación ao ruído, só se deben ter en conta os edificios residenciais. Por tanto, non se debe asignar ningunha persoa a edificios que non sexan para uso residencial, tales como colexios, hospitais, edificios para oficinas ou fábricas. A asignación da poboación a edificios residenciais débese basear nos últimos datos oficiais (en función dos regulamentos correspondentes dos Estados membros).

Tendo en conta que o cálculo do ruído das aeronaves se realiza para unha cuadrícula cunha resolución $100 \text{ m} \times 100 \text{ m}$, no caso específico do ruído de aeronaves os niveis débense interpolar en función dos niveis de ruído da malla de cálculo máis próxima.

Determinación do número de habitantes dun edificio.

O número de habitantes dun edificio residencial é un parámetro intermedio importante para calcular a exposición ao ruído. Lamentablemente, estes datos non sempre se encontran dispoñibles. A continuación, especificase como pode calcularse este parámetro a partir de datos que se encontran dispoñibles con maior frecuencia.

Os símbolos utilizados a continuación son:

BA	=	superficie en andar do edificio
DFS	=	superficie residencial útil
DUFS	=	superficie residencial útil de cada vivenda
H	=	altura do edificio
FSI	=	superficie de vivenda por habitante
Inh	=	número de habitantes
NF	=	número de andares do edificio
V	=	volumen de edificios residenciais

Para calcular o número de habitantes, débese usar o procedemento do caso 1 seguinte ou o do caso 2, en función da dispoñibilidade dos datos.

CASO 1: encóntanse dispoñibles os datos sobre o número de habitantes.

1A: coñécese o número de habitantes ou calculouse en función do número de vivendas. Neste caso, o número de habitantes dun edificio é a suma do número de habitantes de todas as vivendas do edificio:

$$Inh_{building} = \sum_{i=1}^n Inh_{dwelling_{unit_i}} \quad (2.8.1)$$

1B: o número de habitantes coñécese só para entidades máis grandes que un edificio; por exemplo, lados dos cuarteiróns, cuarteiróns, seccións censuais e distritos ou mesmo un municipio enteiro. Neste caso, o número de habitantes dun edificio calcúlase en función do volumen do edificio:

$$Inh_{building} = \frac{V_{building}}{V_{total}} \times Inh_{total} \quad (2.8.2)$$

O índice " aquí fai referencia á entidade correspondente considerada. O volumen do edificio é o produto da súa superficie construída e de súa altura:

$$V_{building} = BA_{building} \times H_{building} \quad (2.8.3)$$

Se non se coñece a altura do edificio, débese calcular en función do número de andares $NF_{building}$, supondo unha altura media por andar de 3 m:

$$H_{building} = NF_{building} \times 3 \text{ m} \quad (2.8.4)$$

Se tampouco se coñece o número de andares, débese usar un valor por defecto para o número de andares representativo do distrito ou do municipio.

O volumen total de edificios residenciais da entidade considerada V_{total} calcúlase como a suma dos volumes de todos os edificios residenciais da entidade:

$$V_{total} = \sum_{i=1}^n V_{building_i} \quad (2.8.5)$$

CASO 2: non se encontran dispoñibles os datos sobre o número de habitantes.

Neste caso, o número de habitantes calcúlase en función da superficie de vivenda por habitante FSI. Se non se coñece este parámetro, débese usar un valor predeterminado nacional.

2A: a superficie residencial útil coñécese en función do número de vivendas. Neste caso, o número de habitantes por vivenda calcúlase como segue:

$$Inh_{dwelling_{unit_i}} = \frac{DUFS_i}{FSI} \quad (2.8.6)$$

O número de habitantes do edificio agora pódese calcular como no CASO 1A anterior.

2B: a superficie residencial útil coñécese para todo o edificio, é dicir, coñécese a suma das superficies de todas as vivendas do edificio. Neste caso, o número de habitantes calcúlase como segue:

$$Inh_{building} = \frac{DFS_{building}}{FSI} \quad (2.8.7)$$

2C: a superficie residencial útil coñécese só para as entidades máis grandes que un edificio; por exemplo, cuarteiróns, seccións censuais e distritos ou mesmo un municipio enteiro.

Neste caso, o número de habitantes dun edificio calcúlase en función do volume do edificio, tal e como se describiu no CASO 1B anterior, onde o número total de habitantes se calcula como segue:

$$Inh_{total} = \frac{DFS_{total}}{FSI} \quad (2.8.8)$$

2D: descoñécese a superficie residencial útil. Neste caso, o número de habitantes dun edificio calcúlase segundo se describiu no CASO 2B anterior, onde a superficie residencial útil se calcula como segue:

$$DFS_{building} = BA_{building} \times 0,8 \times NF_{building} \quad (2.8.9)$$

O factor 0,8 é o factor de conversión superficie construída -> superficie útil. Se se coñece un factor diferente como representativo da superficie, deberase utilizar e documentar con claridade.

Se non se coñece o número de andares do edificio, deberase calcular en función da altura do edificio, $H_{building}$, cuxo resultado adoita ser un número non enteiro de andares:

$$NF_{building} = \frac{H_{building}}{3 \text{ m}} \quad (2.8.10)$$

Se non se coñecen a altura do edificio nin o número de andares, débese usar un valor por defecto para o número de andares representativo do distrito ou do municipio.

Asignación de puntos receptores nas fachadas de edificios.

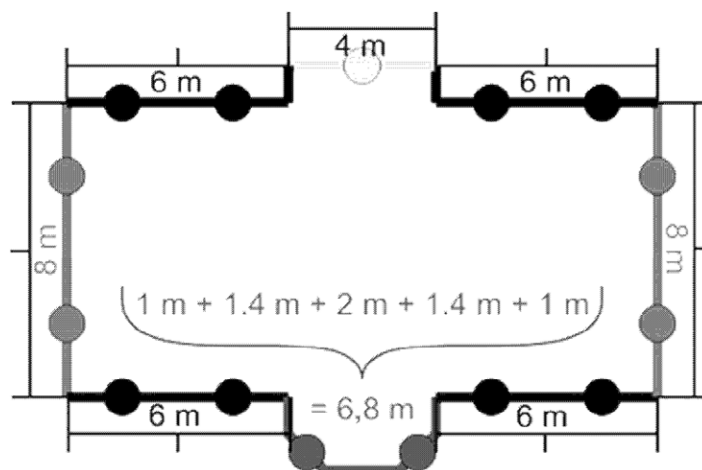
A avaliación da exposición da poboación ao ruído baséase nos niveis de ruído nos puntos receptores situados a 4 m por riba do nivel do terreo nas fachadas dos edificios residenciais.

Para calcular o número de habitantes, débese usar o procedemento do caso 1 seguinte ou o do caso 2 para fontes de ruído terrestres. No caso de que o ruído das aeronaves se calcule segundo o indicado na sección 2.6, asóciase toda a poboación dun edificio ao punto de cálculo de ruído máis próximo da malla de cálculo.

CASO 1

Figura a

Exemplo de localización de receptores nas fachadas dun edificio, segundo o procedemento do CASO 1

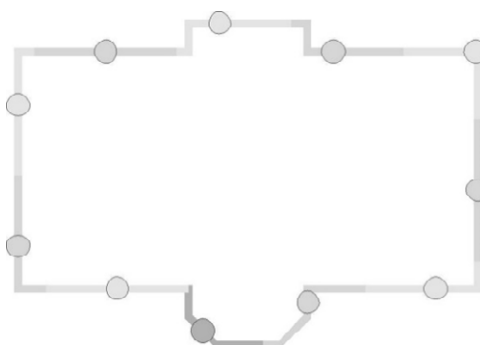


- Os segmentos cunha lonxitude de máis de 5 m divídense en intervalos regulares da máxima lonxitude posible, pero inferior ou igual a 5 m. Os puntos receptores colócanse no medio de cada intervalo regular.
- Os demais segmentos por riba dunha lonxitude de 2,5 m represéntanse mediante un punto do receptor no medio de cada segmento.
- Os demais segmentos adxacentes cunha lonxitude total de máis de 5 m trátanse de maneira similar a como se describe nas letras a) e b).
- O número de habitantes asignados a un punto receptor débese ponderar en función da lonxitude da fachada representada, de tal maneira que a suma de todos os puntos do receptor represente o número total de habitantes.
- Só para os edificios con superficies que indiquen unha única vivenda por andar, o nivel de ruído da fachada máis exposto úsase directamente para efectos estatísticos e está relacionado co número de habitantes.

CASO 2

Figura b

Exemplo de localización de receptores nas fachadas dun edificio, segundo o procedemento do CASO 2



- a) As fachadas considéranse por separado e divídense cada 5 m desde o punto de partida considerado, cunha posición do receptor localizada á distancia media da fachada ou do segmento de 5 m.
- b) No último segmento restante, colocárase un punto receptor no seu punto medio.
- c) O número de habitantes asignados a un punto receptor débese ponderar en función da lonxitude da fachada representada, de tal maneira que a suma de todos os puntos do receptor represente o número total de habitantes.
- d) No caso de edificios con só unha vivenda por andar, asígnase, para efectos estatísticos, o número de habitantes á fachada máis exposta.

3. DATOS DE ENTRADA.

Os datos de entrada que se deben utilizar segundo proceda cos métodos descritos anteriormente facilitáanse nos apéndices F a I.

Nos casos en que os datos de entrada facilitados nos apéndices F a I non sexan aplicables ou se desvíen do valor real que non cumbran as condicións presentadas nas seccións 2.1.2 e 2.6.2, pódense usar outros valores, sempre que os valores usados e a metodoloxía utilizada para os achar estean o suficientemente documentados e se demostre a súa validez. Esta información porase á disposición do público.

4. MÉTODOS DE MEDICIÓN.

Nos casos en que, por algún motivo, se realicen medicións, estas deberanse levar a cabo de acordo cos principios que rexen as medias das medicións a longo prazo estipuladas nas normas ISO 1996-1:2003 e ISO 1996-2:2007 ou, no caso do ruído de aeronaves, a ISO 20906:2009.

APÉNDICES:

Apéndice A: Requisitos en materia de datos

Apéndice B: Cálculos das *performances* de voo

Apéndice C: Modelización da extensión de dispersión lateral da traxectoria en terra

Apéndice E: Corrección de segmentos finitos

Apéndice F: Base de datos para fontes de tráfico viario

Apéndice G: Base de datos para fontes ferroviarias

Apéndice H: Base de datos para fontes industriais

Apéndice I: Base de datos para fontes asociadas a aeronaves — datos NPD