

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

**3.3.a.**

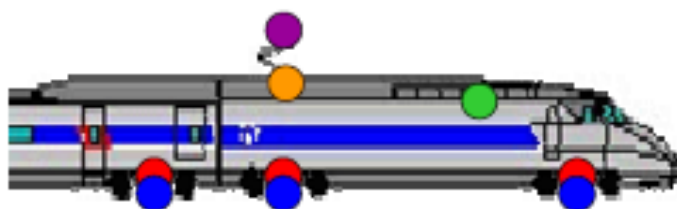
# **Ruido de tráfico ferroviario**

Métodos de cálculo

**Eduard Puig**

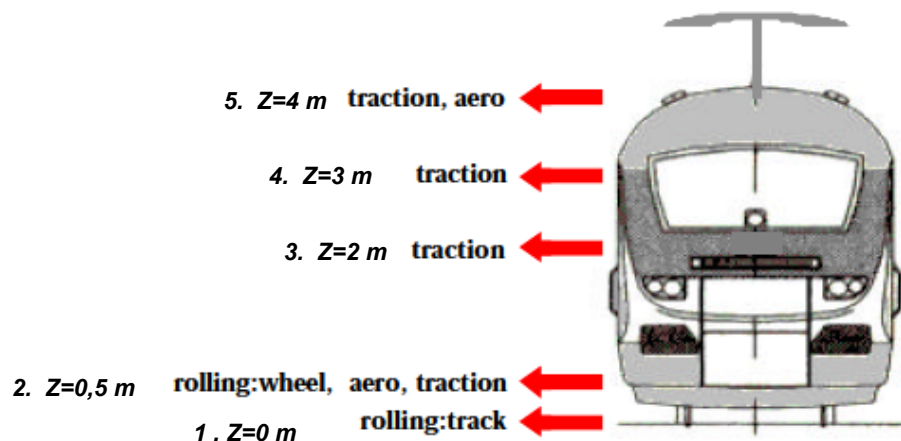
# FUENTES DE RUIDO

Las fuentes productoras de ruido en un tren son:



- Roulement
- Zone bogie
- Ventilateur
- Cavité du pantographe
- Pantographe

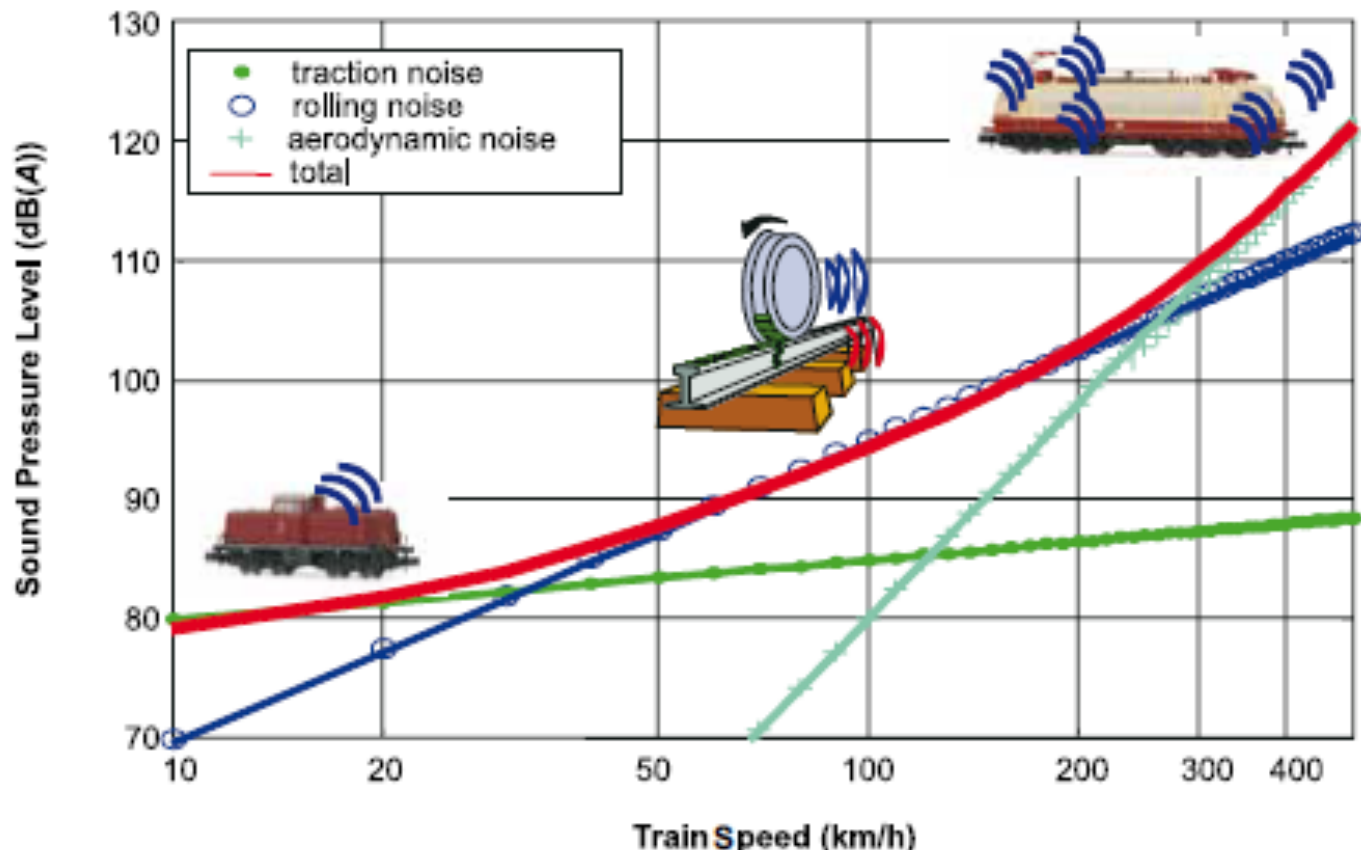
Fuente: SNCF



Fuente: IMAGINE PROJECT. WP6 rail noise sources (2007)

# FUENTES DE RUIDO

El nivel de ruido que genera depende de manera importante de la velocidad del tren.

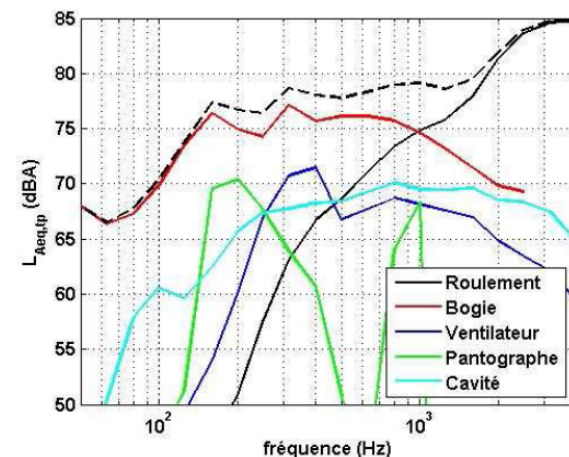
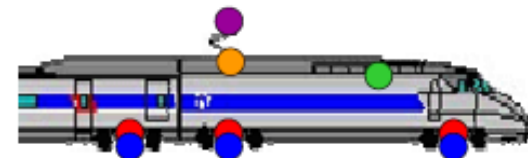
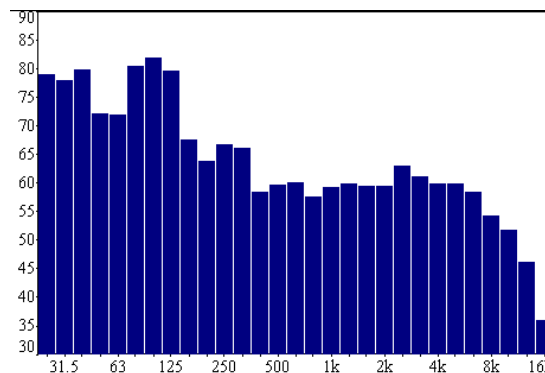
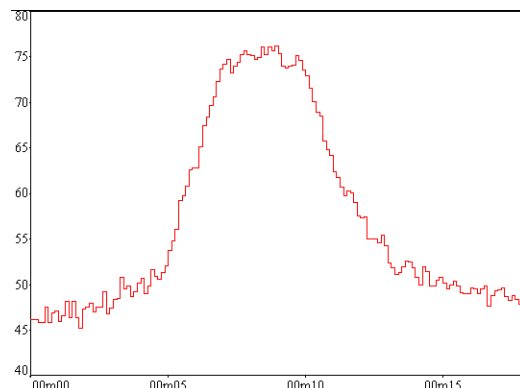


Fuente: Position Paper of the Working Group Railway Noise of the European Commission

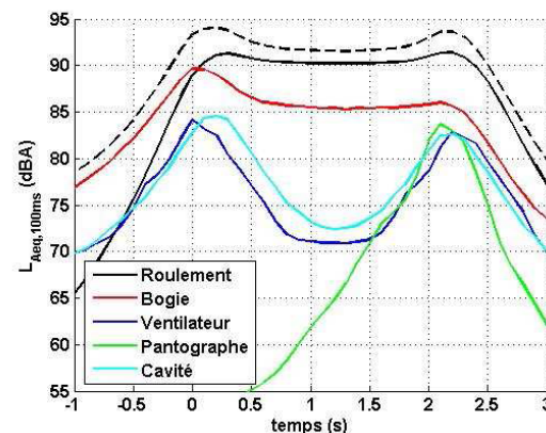
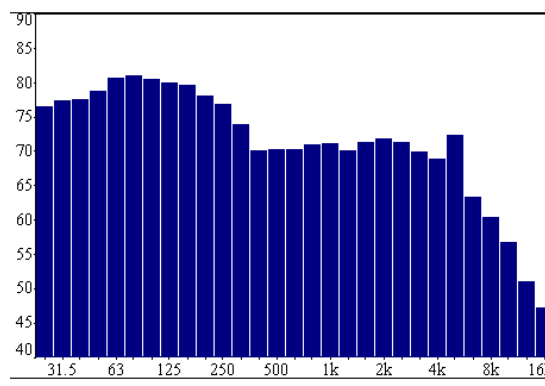
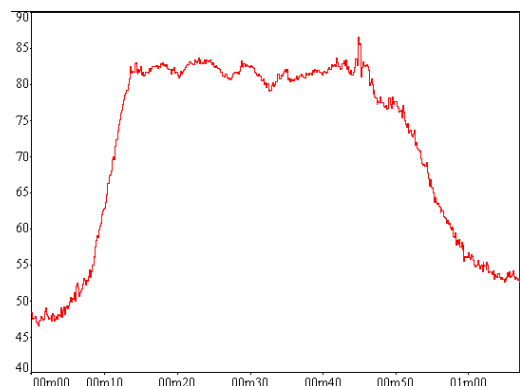
# FUENTES DE RUIDO

El tipo de huella que genera un tren es del tipo:

Tren de pasajeros



Tren de mercancías



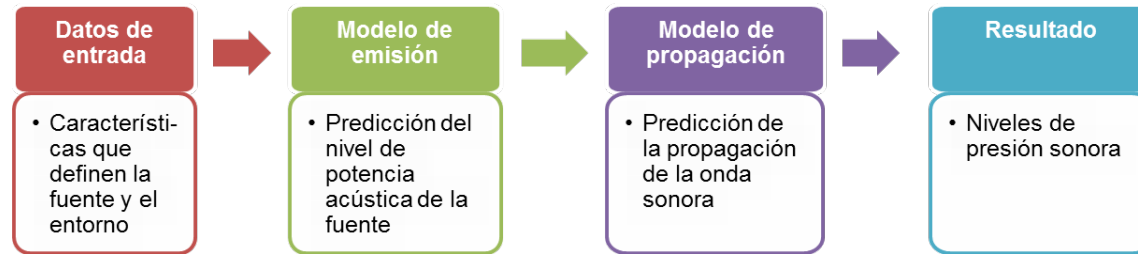
Fuente: SNCF

# MODELIZACIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO FERROVIARIO

## MÉTODOS DE CÁLCULO DE RUIDO DE TRÁFICO FERROVIARIO

- NMBF-fer y NFS 31-133 french rail: Francia.
- KILDE 130: Países Escandinavos.
- SCHALL 03: Alemania.
- CoRTN: Gran Bretaña.
- Japan Narrow-Gauge Railways, based on ASJ: Japan.
- SEMIBEL: Suiza.
- **SMR II-RMR II: Holanda** (recomendado por la Unión Europea).
- ONRegel 305011 : Austria.
- HARMONOISE / IMAGINE: Unión Europea.

# MODELIZACIÓN DE RUIDO DE TRÁFICO FERROVIARIO



## Modelo SMR-II

- El método SMR-II es un sistema computacional, para calcular los niveles de emisión.
- Rango frecuencial: 63 Hz – 8000 Hz.
- Tiene en cuenta diferentes alturas de las fuentes de ruido:
  - Tracción: 0.5m, 2m, 4m
  - Rodadura: 0m, 0.5m
  - Aerodinámico: 0.5m, 2m, 4m, 5m
  - Frenado: 0.5m

## MODELO DE CÁLCULO SMR-II

El método SRM II del 2002 describe diferentes procedimientos de caracterización. Los dos primeros denominados procedimientos A y B, caracterizan la emisión del tren. El procedimiento C caracteriza el tipo de vía.

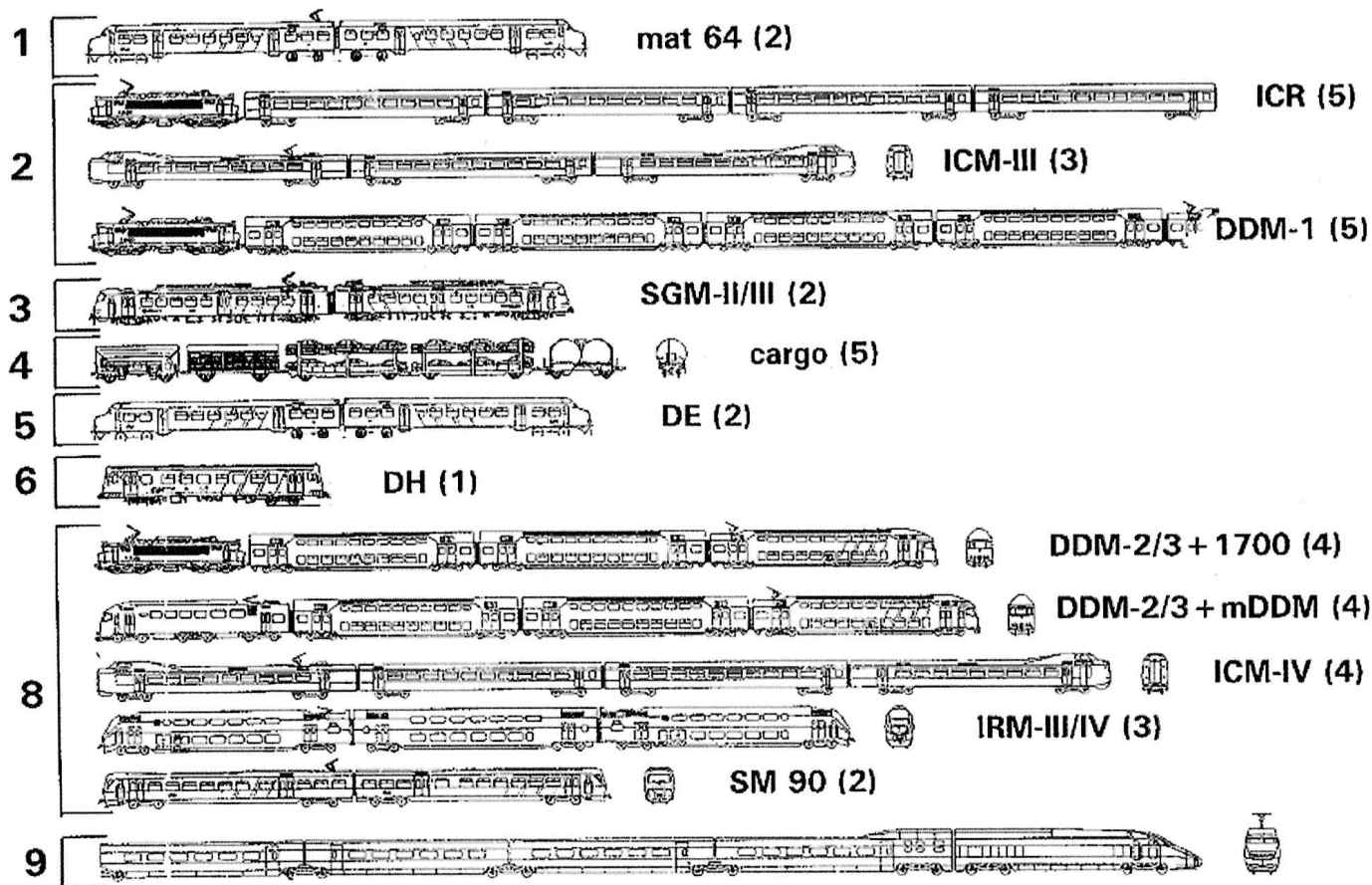
El procedimiento A: es un método simplificado de caracterización acústica de trenes que consiste en asignar al tren a caracterizar la emisión de uno de los tipos de trenes de la base de datos existente. El método Holandés tiene una base de datos donde están caracterizadas la emisión de 9 categorías de tren.

En caso de aplicar el procedimiento A, seria conveniente realizar medidas de los pasos de los trenes (en frecuencia) y utilizar el tren mas parecido de la base de datos.

El procedimiento B: es el método de caracterización extendido que sirve para añadir una categoría de tren más a la base de datos existente. Separa la emisión en los distintos focos de ruido existentes en un tren, en cinco diferentes alturas, de forma que permite diferenciar la procedencia del ruido emitido por el tren.

# DATOS DE ENTRADA

Modelos de trenes de la base de datos que contiene el modelo SMRII.



Fuente: SMRII-RMRII (1996)



## Estas categorías corresponden a trenes con las siguientes características:

- C1. Trenes pasajeros, con frenos de tambor. Máquina eléctrica.
- C2. Trenes pasajeros. Con frenos de disco y tambor.
- C3. Trenes pasajeros. Con frenos de disco.
- C4. Tren de caga con frenos de tambor.
- C5. Trenes pasajeros con frenos de tambor. Máquina diesel.
- C6. Trenes de pasajeros diesel con frenos de disco.
- C7. Trenes subterráneos (metro) con frenos de disco.
- C8. Trenes de pasajeros con frenos de disco tipo Intercity.
- C9. Trenes de pasajeros con frenos de disco y tambor rápidos tipo TGV.
- C10. Provisionalmente reservado a trenes de alta velocidad tipo ICE-3.



# MODELO EMISIÓN

## Niveles de emisión por bandas de octava:

### Altura de las fuentes:

Las medidas se determinan a cinco alturas: 0m, 0.5m, 2m, 4m, 5m.

- at the level of the railhead (emission value  $L_E^{bs}$ );
- 0.5 m above the railhead (emission value  $L_E^{as}$ );
- 2.0 m above the railhead (emission value  $L_E^{2m}$ );
- 4.0 m above the railhead (emission value  $L_E^{4m}$ );
- 5.0 m above the railhead (emission value  $L_E^{5m}$ );

### Variables:

1.  $Q_c$ : Número medio unidades tipo 1
2.  $Q_{br,c}$ : Número medio unidades tipo 2
3.  $V_c$ : Velocidad media de vehículos tipo 1
4.  $V_{br,c}$ : Velocidad media de vehículos tipo 2
5.  $bb$ : tipo de vía/condición
6.  $m$ : Estimación de la probabilidad de uniones dentro del tramo de estudio
7.  $n$ : número de puntos o uniones en el tramo de estudio
8.  $b$ : longitud del tramo de estudio
9.  $C_{bb,i,m}$ : Corrección de la rugosidad de la vía

# MODELO EMISIÓN

El nivel de emisión para nivel de vía:

$$L_{E,i}^{bs} = 10 \lg \left( \sum_{c=1}^8 10^{E_{bs,nb,i,c}/10} + \sum_{c=1}^8 10^{E_{bs,br,i,c}/10} \right)$$

$$E_{bs,nb,i,c} = E_{nb,i,c} - 1$$

$$E_{bs,br,i,c} = E_{br,i,c} - 1$$

$$E_{nb,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_c + 10 \lg Q_c + C_{bb,i,m}$$

$$E_{br,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_{br,c} + 10 \lg Q_{br,c} + C_{bb,i,m}$$

Nota: C9 no tiene nivel de emisión a nivel de vía

Donde:  $a_i$  y  $b_i$  son los espectros frecuenciales en función de la categoría de tren,  $v_i$  de las velocidades,  $Q_i$  del número de trenes y  $C_{bb}$  de las características de las vías.

# MODELO EMISIÓN

$$E_{br,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_{br,c} + 10 \lg Q_{br,c} + C_{bb,i,m}$$

category	index code	octave band with centre frequency [Hz]							
		63	125	250	500	1k	2k	4k	8k
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	a	20	55	86	86	46	33	40	29
	b	19	8	0	3	26	32	25	24
2	a	51	76	91	84	46	15	24	36
	b	5	0	0	7	26	41	33	20
3	a, v < 60	54	50	66	86	68	68	45	39
	v ≥ 60	36	15	66	68	51	51	27	21
	b, v < 60	0	10	10	0	10	10	20	20
	v ≥ 60	10	30	10	10	20	20	30	30
3 motor	a, v < 60	72	88	85	51	62	54	25	15
	v ≥ 60	72	35	50	68	9	71	7	-3
	b, v < 60	-10	-10	0	20	10	20	30	30
	v ≥ 60	-10	20	20	10	40	10	40	40
4	a	30	74	91	72	49	36	52	52
	b	15	0	0	12	25	31	20	13
5	a, v < 60	41	90	89	76	59	58	51	40
	v ≥ 60	41	72	89	94	76	58	51	40
	b, v < 60	10	-10	0	10	20	20	20	20
	v ≥ 60	10	0	0	0	10	20	20	20
5 diesel	a	88	95	107	113	109	104	98	91
	b	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
6	a, v < 60	54	50	66	86	68	68	45	39
	v ≥ 60	36	15	66	68	51	51	27	21
	b, v < 60	0	10	10	0	10	10	20	20
	v ≥ 60	10	30	10	10	20	20	30	30
6 motor	a, v < 60	72	88	85	51	62	54	25	15
	v ≥ 60	72	35	50	68	9	71	7	-3
	b, v < 60	-10	-10	0	20	10	20	30	30
	v ≥ 60	-10	20	20	10	40	10	40	40
7	a	36	62	53	57	37	36	41	38
	b	2	7	18	18	31	30	25	23
8	a	31	62	87	81	55	35	39	35
	b	15	5	0	6	19	28	23	19

# MODELO EMISIÓN

El nivel de emisión para nivel de rueda (0,5 m):

$$L_{E,i}^{as} = 10 \lg \left( \sum_{c=1}^9 10^{E_{as,br,i,c}/10} + \sum_{c=1}^9 10^{E_{as,nb,i,c}/10} + \sum_{c=1}^9 10^{E_{brake,i,c}/10} + 10^{E_{motor,i}/10} + 10^{E_{diesel,i}/10} \right)$$

$$E_{as,nb,i,c} = E_{nb,i,c} - 3$$

$$E_{as,br,i,c} = E_{br,i,c} - 3$$

$$E_{nb,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_c + 10 \lg Q_c + C_{bb,i,m}$$

$$E_{br,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_{br,c} + 10 \lg Q_{br,c} + C_{bb,i,m}$$

En esta expresión aparecen, además contribuciones directas debidas a frenos, al motor y a un aporte si se trata de una máquina diesel

# MODELO EMISIÓN

El nivel de emisión para nivel de rueda (0,5 m):

$$L_{E,i}^{as} = 10 \lg \left( \sum_{c=1}^9 10^{E_{as,br,i,c}/10} + \sum_{c=1}^9 10^{E_{as,nb,i,c}/10} + \sum_{c=1}^9 10^{E_{brake,i,c}/10} + 10^{E_{motor,i}/10} + 10^{E_{diesel,i}/10} \right)$$

$$E_{brake,i,c} = a_{i,c} + b_{i,c} \lg v_{br,c} + 10 \lg Q_{br,c} + C_{brake,i,c}$$

$$E_{motor,i} = 10 \lg \left( 10^{(a_{motor,i} + b_{motor,i} \lg v_c + 10 \lg Q_c)/10} + 10^{(a_{motor,i,c} + b_{motor,i} \lg v_{br,c} + 10 \lg Q_{br,c})/10} \right)$$

$$E_{diesel,i} = 10 \lg \left( 10^{(a_{diesel,i} + b_{diesel,i} \lg v_5 + 10 \lg Q_5)/10} + 10^{(a_{diesel,i} + b_{diesel,i} \lg v_{r,5} + 10 \lg Q_{r,5})/10} \right)$$

# MODELO EMISIÓN

El aporte debido a los frenos, introduce una corrección, función de la frecuencia:

octave band	$C_{\text{brake.i.c}}$			
i	c = 1, 4, 5	c = 2	c = 7	c = 3, 6, 8, 9
1	-20	-20	-8	-20
2	-20	-20	-7	-20
3	-20	-20	-20	-20
4	-2	0	-20	-20
5	2	1	-20	-20
6	3	2	-20	-20
7	8	5	-20	-20
8	9	5	-5	-20

# MODELO EMISIÓN

Y las correcciones por el efecto de la vía, se determinan, por la variable C<sub>bb</sub>:

$$C_{bb,i,m} = C_{3,i} + 10 \lg(1 + f_m A_i)$$

Octave band i	A <sub>i</sub>
1	3
2	40
3	20
4	3
5, 6, 7, 8	0

Description	m type	f <sub>m</sub>
track with rail joints	2	1/30
1 switch	2	1/30
2 switches per 100 m	3	6/100
more than 2 switches per 100 m (depot)	4	8/100

octave band	C <sub>bb,i</sub>							
i	bb = 1	bb = 2	bb = 3	bb = 4	bb = 5	bb = 6	bb = 7	bb = 8
1	0	1	1	6	6	-	6	5
2	0	1	3	8	8	-	1	4
3	0	1	3	7	8	-	0	3
4	0	5	7	10	9	-	0	6
5	0	2	4	8	2	-	0	2
6	0	1	2	5	1	-	0	1
7	0	1	3	4	1	-	0	0
8	0	1	4	0	1	-	0	0



# MODELO PROPAGACIÓN

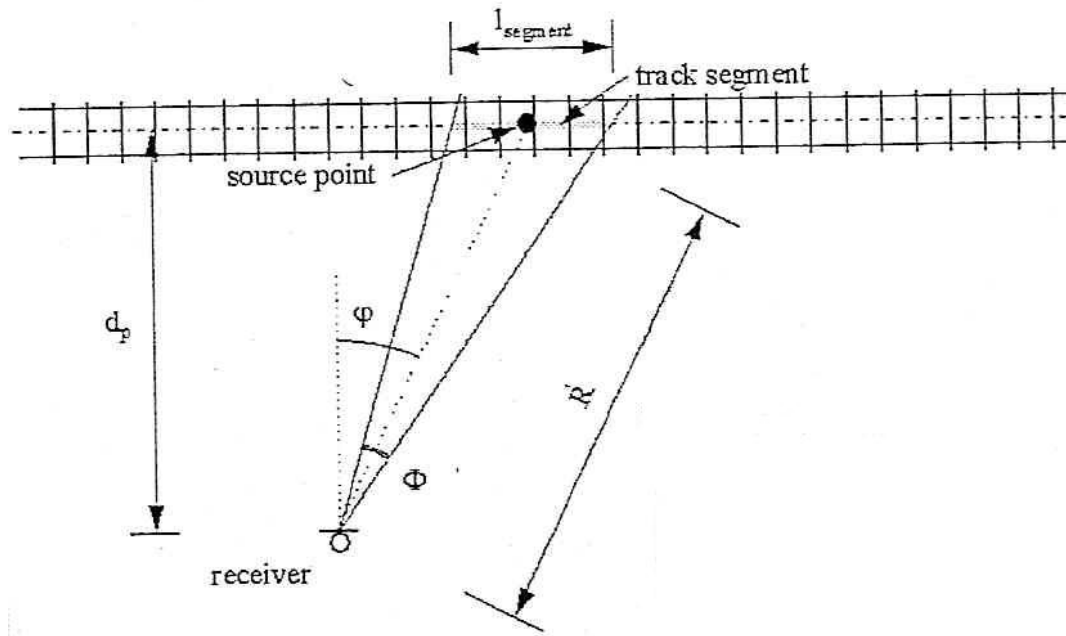
$$\Delta Leq,i,j,n = LE + LGU + LOD + LSW + LB + LR - 58,6$$

1. LE: nivel de emisión sonora por la fuente en altura y por octava.
2. LGU: Atenuación debida a la divergencia geométrica.
3. LOD: Atenuación debida a la propagación.
4. LSW: Atenuación debida a barreras si se han de considerar.
5. LB: Atenuación debida a los edificios.
6. LR: Efecto de reflexiones, si es aplicable.

# MODELO PROPAGACIÓN

Aparte de la caracterización de los trenes y circulación por estos, como cualquier fuente lineal, esta se descompone en fracciones de una determinada longitud, considerando cada uno de estos puntos como un foco puntual

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^J \sum_{n=1}^N 10^{\frac{\Delta L_{eq,i,j,n}}{10}} dB(A)$$



i: octavas

j: segmentos

n: fuente

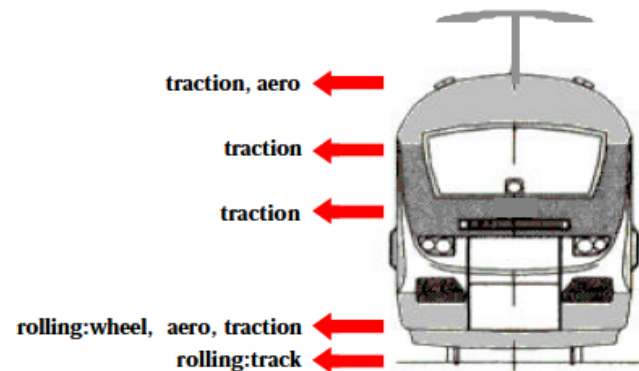
Fuente: SMRII-RMRII (1996)

## Procedimiento B:

Permite separar el ruido del tren en los diferentes focos que lo componen: tracción, rodadura, aerodinámico y frenado.

Cada tipo de foco puede estar asignado a diferentes alturas:

- Tracción: 0.5m, 2m, 4m
- Rodadura: 0m, 0.5m
- Aerodinámico: 0.5m, 2m, 4m, 5m
- Frenado: 0.5m



*Fuente:* IMAGINE PROJECT. WP6 rail noise sources (2007)

El resultado es un nivel de emisión en bandas de octava en función de la velocidad y distribuido por alturas.

- Para el ruido de tracción, aerodinámico y frenado: medidas de presión sonora, medida de velocidad.
- Para el ruido de rodadura: medidas de vibraciones del carril y la traviesa, medidas de rugosidad de la vía y de rugosidad de la rueda.

## Uso del método SMR-II en Holanda

- El flujo ferroviario está estandarizado en una base de datos a la venta pública.
- Dicha base es actualizada por el Ministerio de Medio Ambiente Holandés.
- Contienen todos los datos de tráfico, tipo de tren, datos de vía, etc...
- La base es bianual, reduciendo discrepancias entre diferentes usuarios y software.

## Uso del método SMR-II en UE

- Propagación del ruido similar a la ISO 9613-2.
- Puede en teoría adaptarse a otros países, actualizando la base de datos.
- Puede tener problemas d caracterización de tecnologías de trenes diferentes a las convencionales, ejemplo: TALGO.

## Bibliografia

1. Directiva 2002/49/CE, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.
2. Recomendación de la comisión, de 6 de agosto de 2003, relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, del tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes (2003/613/CE).
3. Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure. Versión 2. European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN). 2006.
4. Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement. Working Group Railway Noise of the European Commission. 2003.
5. Revisión del método holandés de caracterización acústica de trenes para su aplicación en la directiva 2002/49/CE sobre evaluación y gestión del ruido ambiental. Tecniacústica 2003.
6. Méthode et données d'émission sonore pour la réalisation des études prévisionnelles du bruit des infrastructures de trans-port ferroviaire dans l'environnement. SNCF. 2012.
7. <http://www.stairrs.org/>

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

# Ruido de tráfico ferroviario

## Métodos de cálculo

**Eduard Puig**