

MODELADO ACÚSTICO DEL TREN DE CERCANÍAS VALENCIA – GRAO DE GANDIA

PACS: 43.50Lj

Laura Bertó¹, Jesús Alba¹; Romina Del Rey¹; Joaquín Penalba¹

¹ Escuela Politécnica Superior de Gandía; Universitat Politècnica de València.

C/ Paraninfo nº1, Grao de Gandia 46730 (Valencia) España

E-mail: lauberca@upv.es, jesalba@fis.upv.es, roderey@doctor.upv.es, joapefer@alumni.upv.es

ABSTRACT

The railway is one of the public transports most used today. It supposes the need to reduce the negative effects it produces, such as noise and vibration. Noise generated by railway infrastructure is obtained at present according to the Dutch method of calculation, SRMII, which requires knowledge of the acoustic equivalence between Dutch and Spanish trains. In this paper, from measurements "in situ" according to ISO 3095:2005, we evaluate the acoustic behavior of the commuter train Valencia - Grau de Gandia, in order to obtain an acoustic behavioral model of the train.

Keywords: mathematical model, railway traffic, noise pollution.

RESUMEN

El ferrocarril es uno de los medios de transporte público más utilizados en la actualidad. Esto supone la necesidad de reducir los efectos negativos que produce, tales como ruido y vibraciones. La obtención del ruido generado por infraestructuras ferroviarias se obtiene, actualmente, haciendo uso del método de cálculo holandés, SRMII, que requiere conocer la equivalencia acústica entre trenes holandeses y españoles. En este trabajo, a partir de mediciones "in situ" según Norma ISO 3095:2005, se evalúa el comportamiento acústico del tren de cercanías Valencia – Grao de Gandia, con la finalidad de obtener un modelo de comportamiento propio de dicho tren.

Palabras clave: modelado matemático, tráfico ferroviario, contaminación acústica.

INTRODUCCIÓN

El ferrocarril es uno de los medios de transporte público más utilizados en la actualidad. Esto supone la necesidad de reducir los efectos negativos que produce, tales como ruido y vibraciones. Con la finalidad de evaluar o estimar el ruido generado por este tipo de transportes, la Comisión de las Comunidades Europeas vista la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de Junio de 2002, sobre evaluación y gestión de ruido ambiental y, en particular, el punto 2.2. de su Anexo II, recomienda, para la evaluación del ruido de tráfico ferroviario, el método de cálculo nacional de los Países Bajos denominado RMR. Este método proporciona dos sistemas de cálculo, SRM I (Método simplificado, total) y SRM II (método detallado, bandas de octava) y para poder aplicarlo en España se debe definir una equivalencia entre los tipos de tren holandeses y los españoles. Aunque esta equivalencia existe [1], a diferencia de otros países como Francia [2], no se ha definido en España un modelo propio de simulación sonora de tráfico ferroviario aceptado por la Administración.

Algunos autores [3] ya han desarrollado estudios previos encaminados a obtener un modelo sencillo de predicción de los trenes que circulan en la red ferroviaria. Así pues, siguiendo estudios anteriores y tratando de aportar conocimiento para el desarrollo de un modelo propio de simulación sonora de la red ferroviaria española, el presente trabajo centra su objetivo en la evaluación del ruido generado por un tren de cercanías en tres estados diferentes; estado de velocidad constante, estado de aceleración y estado de deceleración. Para ello se realizan mediciones "in situ" tomando como guía las especificaciones de la norma UNE EN ISO 3095:2006 – "Medida del ruido emitido por vehículos sobre raíles" [4].

A partir de estas mediciones de campo y mediante el desarrollo de métodos matemáticos, se modeliza la relación entre una variable dependiente, que será el nivel de ruido que genera el tren en una situación determinada, y diferentes variables independientes que serán las constantes que definan nuestro modelo. Obtenidas las variables independientes o explicativas, se podrá calcular el nivel sonoro que produce un tren de las mismas características al estudiado, a cualquier distancia y velocidad del mismo. Un coeficiente de correlación entre la variable dependiente y las variables independientes nos proporcionará la validez del modelo desarrollado para cada uno de los tres estados estudiados.

INTRODUCCIÓN TEÓRICA

El ruido producido por un tren se caracteriza principalmente por su firma acústica, la cual puede tener diferentes formas en función de la velocidad del tren, la longitud o la disposición de las vías, no obstante, todas ellas se caracterizan por una forma trapezoidal, compuesta por una parte ascendente que presenta una mayor pendiente a mayor velocidad del tren y a menor distancia de la vía, una meseta que representa el nivel sonoro generado por el tren al pasar por el punto de observación y una parte descendente que representa la disminución del ruido al alejarse el tren del punto de observación. La UNE EN ISO 3095:2006 utiliza el nivel de exposición sonora al tránsito, TEL, para evaluar el ruido generado por un tren. Para trenes que se mueven a velocidad constante se puede obtener según la siguiente ecuación:

$$TEL = L_{pAeq,T} + 10\log(T/T_p) \quad \text{ec. 1}$$

Donde $L_{pAeq,T}$ es el nivel de presión sonora continuo equivalente, ponderado A, expresado en el intervalo de tiempo de medición, T es el tiempo de medición que comienza cuando el nivel de presión sonora, ponderado A, está 10dB por debajo del medido cuando la parte delantera del tren se encuentra frente a la posición de micrófono y finaliza cuando el nivel de presión sonora

ponderado A está 10dB por debajo del medido cuando la parte trasera del tren se encuentra frente a la posición del micrófono. Por último, T_p es el tiempo de paso del vehículo en cuestión. Para trenes que aceleran o frenan la magnitud de medición debe ser la presión sonora máxima, ponderada A, $L_{pAF,max}$, y determinado durante el intervalo de tiempo de medición T , utilizando la ponderación en el tiempo "Fast". En el caso de vehículos que aceleran, el tiempo de medición T debe comenzar cuando la parte frontal de la unidad de tracción se encuentra 20 m antes de la posición de micrófono y debe terminar cuando la parte posterior se encuentre 20 m más allá de dicha posición de micrófono. En el caso de vehículos que están decelerando, el intervalo de tiempo de medición, T , debe comenzar cuando la parte frontal del vehículo se encuentre 20m antes de la primera posición de micrófono y terminar cuando el tren pare.

Por otra parte debemos saber que el ruido producido por el ferrocarril depende fundamentalmente de 4 factores [5]: Tipo de tren que produce un nivel L_0 a una velocidad V_0 y a una distancia d_0 ; velocidad, v (km/h); distancia, d (m) y directividad. De manera que la energía sonora producida por un tren puede definirse según la siguiente ecuación:

$$L_{max} = L_0 - K_e \log \left[\frac{d}{d_0} \right] + K_v 10 \log \left[\frac{V}{V_0} \right] - K_d \quad \text{ec. 2}$$

donde:

K_e = coeficiente multiplicador de la función distancia; K_v = coeficiente multiplicador que depende de la velocidad; K_d = coeficiente de corrección de la directividad; L_0 = nivel de referencia a una cierta distancia. En nuestro caso concreto, podríamos despreciar el factor corrector de la directividad ya que, debido a las distancias y alturas a las que vamos a evaluar el tren a estudio, dicho factor no se podrá analizar.

DESCRIPCIÓN DEL TREN A EVALUAR Y DE LAS MEDIDAS DE CAMPO

Tal y como se ha dicho anteriormente, el presente trabajo persigue el objetivo de obtener un modelo propio de simulación sonora del tren de cercanías Grao de Gandia-Valencia en tres estados diferentes; estado de velocidad constante, estado de aceleración y estado de frenado.

Descripción Del Tren

El tren a evaluar es el tren de cercanías Valencia-Playa de Gandia, modelo automotor eléctrico S-446, con una velocidad máxima de 100 km/h, una longitud de 75 metros y un peso máximo de 219.6 Tm por unidad. Este tren llega a la estación de la playa de Gandia en tres horarios al día (mañana, mediodía y tarde)

Detalle De Las Mediciones "In Situ"

Durante la campaña "in situ" se realizaron 6 mediciones a diferentes distancias del tren para cada uno de los tres estados a evaluar y se registró la velocidad del tren en cada caso. En la tabla 1 se puede ver las características de cada una de las posiciones de micrófono seleccionadas para las mediciones de campo.

Estado	Magnitud a ensayo	Nº Medida	Lugar	Distancia (m)	Velocidad (km/h)
V cte.	L_{pAeq}	1.1	Ver Fig. 1	8	28
V cte.	L_{pAeq}	1.2	Ver Fig. 1	9	27
V cte.	L_{pAeq}	1.3	Ver Fig. 1	10	34
V cte.	L_{pAeq}	1.4	Ver Fig. 1	11	33
V cte.	L_{pAeq}	1.5	Ver Fig. 1	12	30
V cte.	L_{pAeq}	1.6	Ver Fig. 1	7.5	40
Aceleración	$L_{AF,max}$	2.1	Ver Fig. 2	12	25

Aceleración	LAF,max	2.2	Ver Fig. 2	8.5	25
Aceleración	LAF,max	2.3	Ver Fig. 2	10.5	22
Aceleración	LAF,max	2.4	Ver Fig. 2	9.5	21
Aceleración	LAF,max	2.5	Ver Fig. 2	11	20
Aceleración	LAF,max	2.6	Ver Fig. 2	9	26
Deceleración	LAF,max	3.1	Ver Fig. 2	11	25,0
Deceleración	LAF,max	3.2	Ver Fig. 2	10	29,0
Deceleración	LAF,max	3.3	Ver Fig. 2	9.5	25,0
Deceleración	LAF,max	3.4	Ver Fig. 2	10.5	20,0
Deceleración	LAF,max	3.5	Ver Fig. 2	12	23,0
Deceleración	LAF,max	3.6	Ver Fig. 2	9	24,0

Tabla 1. Posiciones de micrófono seleccionadas para las mediciones de campo o mediciones "in situ"



Fig. 1. Posiciones de micrófono .Aceleración y deceleración



Fig. 2. Posiciones de micrófono. v cte

ANÁLISIS DE LAS MEDIDAS EXPERIMENTALES

A continuación se presentan las firmas acústicas para cada una de las posiciones de micrófono definidas en cada uno de los estados evaluados: estado de velocidad constante, estado de aceleración y estado de deceleración.

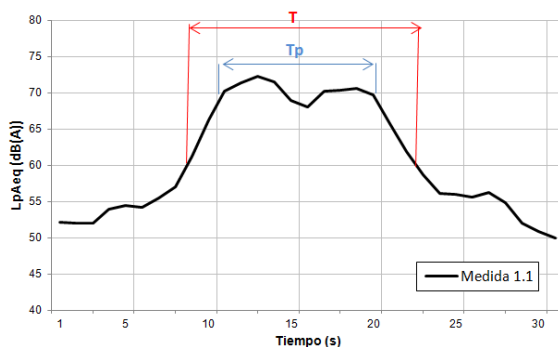


Fig. 3. Firma acústica para la posición de micrófono 1.1 con detalle del tiempo de exposición y el tiempo de paso

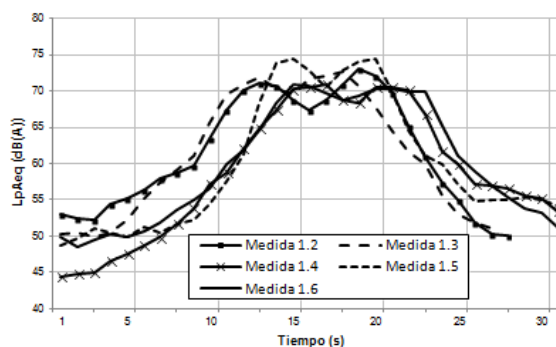


Fig. 4. Firmas acústicas para las posiciones de micrófono de 1.2, 1.3, 1.4, 1.5 y 1.6

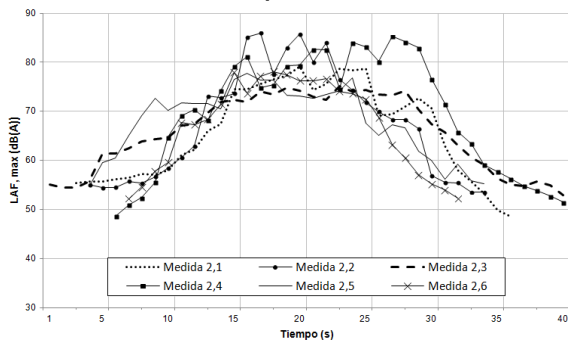


Fig. 5. Firma acústica para las posiciones de micrófono 2.1 a 2.6 en estado de aceleración

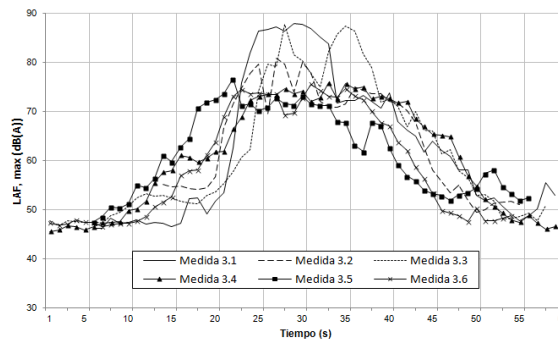


Fig. 6. Firma acústica para las posiciones de micrófono 3.1 a 3.6 en estado de deceleración

Tal y como se puede observar en las Fig. 3 a 6, las firmas acústicas que representan el ruido generado por el tren en velocidad constante son estables, contando con una pendiente ascendente, una meseta y una pendiente descendente. En el caso de aceleración y deceleración, las firmas acústicas presentan mayor variabilidad, sobre todo para el caso de deceleración donde los niveles sonoros máximos oscilan entre, aproximadamente 70 y 85dB(A). De las firmas acústicas extraemos los valores de $L_{pAeq,T}$ para el caso de velocidad constante y $L_{pAF,max}$ para los casos de aceleración y deceleración. Estos valores se muestran en las tablas 2 y 3.

Ensayos en velocidad constante						
	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6
$L_{pAeq,T}$	70,5	70,5	71,2	70,1	69,9	72,4
T(s)	13,0	13,0	13,0	12,0	14,0	9,0
Tp (s)	9,0	9,0	8,0	7,0	9,0	6,0
TEL (dB(A))	72,1	72,1	73,3	72,4	71,8	74,2

Tabla 2. Niveles de exposición sonora al tránsito para velocidad constante

	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Medida 4	Medida 5	Medida 6
$L_{pAF,max}$ Aceleración	75,4	80,7	71,5	80,7	73,9	75,4
$L_{pAF,max}$ Deceleración	79,2	80,9	79,3	69,9	68,5	69,6

Tabla 3. Niveles máximo de presión sonora, ponderado A, utilizando la ponderación temporal "fast" para aceleración y deceleración del tren a estudio

DESARROLLO DEL MODELO DE SIMULACIÓN PROPIA DEL RUIDO DEL TREN

El modelo de simulación propia del ruido del tren a estudio se basa en el desarrollo de un modelo matemático de regresión lineal múltiple que establece la relación entre una variable dependiente, Y, las variables independientes, X_i , y un término aleatorio o error. Partimos de la siguiente ecuación:

$$y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_K \cdot x_k \quad \text{ec. 3}$$

Donde y es la variable dependiente, x_k son las variables independientes o explicativas y β_k las incógnitas a determinar. La ec 3 mantiene un paralelismo con la ec 2 que se muestra en la tabla 4.

	Parámetro en la ecuación 3	Parámetro equivalente en la ecuación 2
Variable dependiente	Y	Niveles de ruido registrados "in situ" y presentados en las tablas 2 y 3
Variables independientes	X1	$\log(d/d_0)$
	X2	$10\log(v/v_0)$
Incógnitas a obtener	β_0	L_0
	β_1	Ke
	β_2	Kd

Tabla 4. Relación entre las variables de las ecuaciones 2 y 3.

De las mediciones "in situ" disponemos de un conjunto de datos conocidos para un número n de individuos o supuestos, 6 en nuestro caso, de forma que, según la ec. 3:

$y_1 = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{11} + \dots + \beta_K \cdot x_{1k}$ \vdots $y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{i1} + \dots + \beta_K \cdot x_{ik}$ \vdots $y_n = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{n1} + \dots + \beta_K \cdot x_{nk}$	Añadiendo un término de error \longrightarrow	$y_1 = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{11} + \dots + \beta_K \cdot x_{1k} + \varepsilon_1$ \vdots $y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{i1} + \dots + \beta_K \cdot x_{ik} + \varepsilon_i$ \vdots $y_n = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_{n1} + \dots + \beta_K \cdot x_{nk} + \varepsilon_n$
---	--	---

Se trata de un sistema con n ecuaciones y $k+1$ incógnitas que es incompatible por ser $n > k+1$. Para hacerlo sistema compatible indeterminado, añadimos en cada ecuación un término de error y buscamos una expresión que simplifique el sistema utilizando para ello matrices:

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_i \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{i1} & x_{i2} & \dots & x_{ik} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \vdots \\ \varepsilon_i \\ \vdots \\ \varepsilon_n \end{pmatrix}$$

Al convertir el sistema a forma matricial nos resulta mucho más cómodo operar. Ahora podemos expresar el modelo de regresión lineal múltiple como la siguiente expresión matricial:

$$Y = X \cdot \beta + \varepsilon \quad \text{ec. 4}$$

Donde X e Y son los datos y β las incógnitas. A continuación se busca la solución que minimice los valores asignados a los errores, es decir, $\min [(\varepsilon_1)^2 + (\varepsilon_2)^2 + \dots + (\varepsilon_n)^2]$, que sería lo mismo que minimizar el vector de error por su transpuesto, $\min \{ \varepsilon^T \cdot \varepsilon \}$. Posteriormente se expresa este producto en función de beta, que son las incógnitas a evaluar y para ello se despeja el término de error de la ec. 4 obteniendo lo siguiente:

$$\varepsilon^T \cdot \varepsilon = [y - x\beta]^T \cdot [y - x\beta] = y^T \cdot y - 2y^T \cdot x \cdot \beta + \beta^T \cdot x^T \cdot x \cdot \beta \quad \text{ec. 5}$$

A continuación debemos buscar el valor más adecuado para β y para ello derivamos en función de β la ec.5 y la igualamos a cero, obteniendo entonces el siguiente resultado:

$$\frac{d(y^T \cdot y - 2y^T \cdot x \cdot \beta + \beta^T \cdot x^T \cdot x \cdot \beta)}{d\beta} = 0 \rightarrow -2x^T y + 2x^T x \beta = 0 \quad \text{ec. 6}$$

Despejando β de la ec. 6 obtenemos la ec. 7 que nos proporciona la solución que asignaríamos a cada una de las β o incógnitas, que, para nuestro caso concreto se trataría de dar solución a las incógnitas L_0 , K_e y K_v que definirán el modelo de simulación de ruido para el tren que se ha estudiado.

$$\beta = [(x^T \cdot x)^{-1} \cdot x^T y] \quad \text{ec. 7}$$

La ec. 7 dará como resultado, en nuestro caso concreto, una matriz 3x1 en la que la primera fila se corresponde con el término β_0 que es equivalente a L_0 , la segunda fila se corresponde con el término β_1 que es equivalente a K_e y la tercera fila se corresponde con el término β_2 que es equivalente a K_v .

RESULTADOS

Estado De Velocidad Constante

Para el caso de estudio de velocidad constante del tren, tenemos las siguientes matrices:

Matriz Y. Variable dependiente (TEL (dB(A)) para cada medida	Matriz X. Variables independientes.			
	X ₀	X1 =log(d/d0)	X2=10log(v/v0)	
$\begin{pmatrix} 72,1 \\ 72,1 \\ 73,3 \\ 72,4 \\ 71,8 \\ 74,2 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,07 \\ -0,02 \\ 0,02 \\ 0,06 \\ 0,10 \\ -0,10 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,30 \\ -0,46 \\ 0,54 \\ 0,41 \\ 0,00 \\ 1,25 \end{pmatrix}$	Siendo: d0(m) = 9.5 V0(Km/h) = 30

Aplicando la ec. 7 obtenemos que:

$\beta_0 = L_0 = 72,3 \text{ dB(A)}$	El error asociado es de 0.9
$\beta_1 = K_e = -4.14$	El coeficiente de correlación múltiple es de 0.96
$\beta_2 = K_v = 1.2$	El coeficiente de determinación, R^2, es de 0.93

Por tanto, para el estado de velocidad constante podemos decir que la fiabilidad del modelo matemático es elevada con un coeficiente de determinación de 0.93 y un error de 0.9. A partir de la ecuación 2 y los coeficientes, L_0 , K_e y K_v obtenidos, se podrá calcular el nivel sonoro generado por un tren de las mismas características a cualquier distancia y velocidad del mismo, tomando como referencia una distancia de 9.5m y una velocidad de 30Km/h.

Estado De Aceleración

Para el caso de estudio de aceleración del tren, tenemos las siguientes matrices:

Matriz Y. Variable dependiente (TEL (dB(A)) para cada medida	Matriz X. Variables independientes.			
	X_0	$X1 = \log(d/d_0)$	$X2 = 10\log(v/v_0)$	
$\begin{pmatrix} 75,2 \\ 80,7 \\ 71,5 \\ 80,7 \\ 73,9 \\ 75,4 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,10 \\ -0,05 \\ 0,04 \\ 0,00 \\ 0,06 \\ -0,02 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,79 \\ -0,79 \\ -1,35 \\ -1,55 \\ -1,76 \\ -0,62 \end{pmatrix}$	Siendo: $d_0(m) = 9.5$ $V_0(Km/h) = 30$

Aplicando la ec. 7 obtenemos que:

$\beta_0 = L_0 = 76,7 \text{ dB(A)}$	El error asociado es de 9.3
$\beta_1 = K_e = -42$	El coeficiente de correlación múltiple es de 0.62
$\beta_2 = K_v = -0,4$	El coeficiente de determinación, R^2, es de 0.4

En este caso, de momento, no se podría dar por válida la fiabilidad del modelo pues el coeficiente de determinación es demasiado bajo. En primera mejora, se deberían realizar más mediciones de forma que se tengan más supuestos y se minimice la variabilidad entre datos mejorando así el ajuste del modelo matemático.

Estado De Deceleración

Para el caso de estudio de deceleración del tren, tenemos las siguientes matrices:

Matriz Y. Variable dependiente (TEL (dB(A)) para cada medida	Matriz X. Variables independientes.			
	X_0	$X1 = \log(d/d_0)$	$X2 = 10\log(v/v_0)$	
$\begin{pmatrix} 79,2 \\ 80,9 \\ 79,3 \\ 69,9 \\ 68,5 \\ 69,6 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} 0,06 \\ 0,02 \\ 0,00 \\ 0,04 \\ 0,10 \\ -0,02 \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} -0,79 \\ -0,15 \\ -0,79 \\ -1,76 \\ -1,15 \\ -0,97 \end{pmatrix}$	Siendo: $d_0(m) = 9.5$ $V_0(Km/h) = 30$

Aplicando la ec. 7 obtenemos que:

$\beta_0 = L_0 = 82,4 \text{ dB(A)}$	El error asociado es de 2
$\beta_1 = K_e = -0,6$	El coeficiente de correlación múltiple es de 0.76
$\beta_2 = K_v = 8,4$	El coeficiente de determinación, R^2, es de 0.59

Aunque ligeramente superior al caso de aceleración, seguimos contando con un coeficiente de determinación demasiado bajo (<0.6). Por tanto, con los datos obtenidos hasta el momento, no podemos dar por válida la fiabilidad del modelo para este caso.

CONCLUSIONES

A partir de mediciones “in situ” y partiendo de la ec. 2 presentada en este trabajo, se ha desarrollado un método matemático basado en una regresión lineal múltiple. Éste nos permite obtener el valor de tres parámetros fundamentales en la determinación del ruido generado por un tren; L_0 o nivel de referencia a una cierta distancia del tren, K_e o coeficiente de corrección por distancia y K_v o coeficiente de corrección por velocidad. Se ha realizado el estudio para tres estados: Estado de velocidad constante del tren, de aceleración y de deceleración.

En el primer estado, se obtienen firmas acústicas muy estables con un comportamiento típico caracterizado por una forma trapezoidal compuesta por una pendiente ascendente, una meseta y una pendiente descendente. En este caso, el modelo matemático desarrollado presenta un coeficiente de determinación de 0.93 que garantiza su fiabilidad. En el caso de aceleración y deceleración del tren, existe cierta desviación en las firmas acústicas registradas. Esto se debe, entre otros factores, a que cuando el tren acelera o decelera genera unos niveles sonoros en los que influyen multitud de factores tales como el ruido de propulsión de coches y locomotoras, resonancias en la carrocería, estado de los carriles, etc. Para estos dos estados, el modelo matemático desarrollado presenta coeficientes de determinación bajos, por lo que no podría utilizarse como un modelo fiable.

Como futuras líneas de investigación, se plantea, por una parte, realizar un mayor número de mediciones para el caso de aceleración y deceleración, de forma que, aumentando el número de supuestos mejore la fiabilidad del modelo. Por otra parte sería muy interesante incorporar un cuarto factor de corrección que corrigiera el ruido generado por la frenada y aceleración del tren. De esta forma contaríamos con dos modelos distintos, uno para el comportamiento acústico del tren cuando circula a velocidad constante y otro para el comportamiento acústico del tren cuando entra o sale de una estación, es decir, en aceleración o frenada.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está subvencionado por la Conselleria de Educación de la Generalitat Valenciana, dentro del programa de ayudas para grupos de investigación de calidad contrastada Gerónimo Forteza para la contratación de personal de apoyo en centros de investigación de la Comunitat Valenciana (FPA/2013/A/026).

REFERENCIAS

- [1] Caracterización de la emisión acústica de los trenes utilizados en el sistema ferroviario español. ADIF, Noviembre 2012.
- [2] Guide du Bruit. Ministère de l'environnement et du cadre de vie. Nov 1980.
- [3] L. Faus, J.Romero, A. Jiménez, A. Marín, A. Sanchis, S. Cerdá. “Un primer estudio del ruido en los actuales trenes de la red ferroviaria española”. Revista de Acústica, Vol. 34 Nº 1 y 2.
- [4] UNE-EN ISO 3095:2006. Aplicaciones ferroviarias. Acústica. Medición del ruido emitido por vehículos que circulan sobre carriles (ISO 3095:2005)
- [5] Arturo Romero Ibáñez, 2010, Universidad de Cantabria. Tesis Doctoral. “Estudio de la reducción del ruido aerodinámico de trenes de alta velocidad con pantallas acústicas”.