

---

# Índice

1.	Introducción.....	1
1.1	La necesidad del mantenimiento de la vía .....	1
1.2	Estado actual del conocimiento.....	2
1.2.1	Sistemas de auscultación de vía. Ventajas e inconvenientes.....	2
1.2.2	La interacción vehículo-vía. La importancia de la auscultación dinámica.....	5
1.2.3	La auscultación dinámica aplicada a puntos concretos de la vía.....	6
1.2.4	La auscultación dinámica aplicada a grandes tramos de vía.....	8
1.2.5	Reflexiones sobre el estado actual del conocimiento .....	10
1.3	Objetivos y contribuciones originales de esta tesis .....	11
1.4	Organización del texto .....	12
2.	El tratamiento digital de las señales.....	15
2.1	Introducción.....	15
2.2	La digitalización de las señales .....	16
2.3	El muestreo de las señales.....	18
2.3.1	Selección de la frecuencia de muestreo: el teorema del muestreo o criterio de Nyquist.....	19
2.3.2	El solapamiento de frecuencias o <i>aliasing</i> . Filtros antisolapamiento. ...	21
2.3.3	La aparición de frecuencias espúreas o <i>leakage</i> . Ventanas temporales.	21
2.4	Ejemplos .....	22
2.4.1	Aparición de frecuencias solapadas .....	22
2.4.2	Aparición de frecuencias espúreas.....	24
2.4.3	Selección del tipo de ventana.....	27
3.	Consideraciones prácticas sobre el muestreo de señales.....	29
3.1	Motivación y planteamiento del experimento .....	29
3.2	Resultados .....	31
3.3	Comentarios críticos.....	38
4.	La representación tiempo-frecuencia: los espec-trogramas.....	40
4.1	Obtención de los espectrogramas a partir de las señales muestreadas.....	40
4.2	Ejemplos de representación tiempo-frecuencia .....	43
4.2.1	Representación tiempo-frecuencia de una función senoidal .....	43
4.2.2	Representación tiempo-frecuencia de una delta de Dirac .....	44
4.2.3	Representación tiempo-frecuencia de un coseno de frecuencia variable .....	45

4.2.4	Efecto del solapamiento de frecuencias en la representación tiempo-frecuencia .....	46
4.3	Ejemplos de variación de los parámetros del espectrograma .....	48
4.3.1	Variación de la anchura de la ventana .....	48
4.3.2	Selección del tipo de ventana .....	50
4.3.3	Variación del solape entre ventanas sucesivas .....	51
4.3.4	Variación del número de puntos de las TDF .....	53
5.	Establecimiento del método de auscultación dinámica .....	56
5.1	Descripción de las pruebas.....	56
5.1.1	Descripción de los tramos de pruebas.....	57
5.1.2	Descripción de la unidad de tren instrumentada .....	59
5.1.3	Descripción del equipo de medición empleado.....	60
5.2	Comparación con otras medidas .....	62
5.3	Selección de la frecuencia de filtrado y la frecuencia de muestreo .....	65
5.4	Análisis de repetibilidad .....	67
5.5	Ubicación de los acelerómetros .....	69
6.	Identificación de patrones en los espectrogramas .....	74
6.1	Clasificación de los patrones.....	74
6.2	Identificación de los puntos singulares y defectos de corta duración .....	75
6.2.1	Soldaduras de carriles.....	76
6.2.2	Juntas encoladas .....	78
6.2.3	Plastificaciones en la cabeza del carril o <i>squats</i> .....	78
6.2.4	Paso por los cruzamientos.....	79
6.3	Identificación de los modos de vibración y tipologías de vía .....	81
6.3.1	Separación entre traviesas o excitación paramétrica.....	81
6.3.2	Vibración de las traviesas sobre el balasto.....	82
6.3.3	Resonancia P2 .....	82
6.3.4	Vibración de los carriles sobre las placas de asiento.....	83
6.3.5	Vibración nodo-nodo del carril sobre las traviesas.....	83
6.3.6	Identificación de los cambios de tipología de vía a través de la variación de las frecuencias propias de vibración .....	83
6.4	Identificación de las frecuencias propias de la vía .....	86
6.4.1	Vibración nodo-nodo del carril sobre las traviesas.....	86
6.4.2	Vibración de los carriles sobre las placas de asiento.....	87
6.4.3	Vibración de las traviesas sobre el balasto.....	88
6.5	Identificación de datos anómalos y otras vibraciones .....	88
6.5.1	Identificación de datos anómalos.....	88
6.5.2	Amplificación de vibraciones en las curvas .....	89

7. Optimización de los parámetros para la representación de los espectrogramas .....	92
7.1 Variación de la longitud de la ventana .....	94
7.2 Selección del tipo de ventana .....	96
7.3 Variación del solape entre ventanas.....	98
7.4 Determinación del número de puntos de la TDF .....	99
7.5 Consideraciones finales sobre la determinación de los parámetros óptimos. .....	100
8. Comparación con otros métodos de auscultación dinámica.....	102
8.1 Método Adif-Ineco .....	102
8.1.1 Descripción .....	102
8.1.2 Comparación y crítica .....	103
9. Conclusiones y futuras líneas de investigación.....	106
9.1 Conclusiones.....	106
9.2 Futuras líneas de investigación .....	107
Bibliografía.....	110
Anexo 1. Listado de artículos publicados con relación a la tesis .....	114
Anexo 2. Desarrollo de la Transformada de Fourier de una función seno enventanada.....	116
Anexo 3. Características de los equipos de medición .....	118
A3.1. Acondicionadores de señal M32 .....	118
A3.2. Acelerómetros KS76C100.....	118
Anexo 4. Estimación del impacto en una rueda al paso por una junta .....	124
Anexo 5. Programas de Matlab empleados en esta tesis.....	126
A5.1. Submuestreo de datos de 15 kHz a 2,5 kHz .....	126
A5.2. Submuestreo de datos de 2500 Hz a 200 Hz.....	127
A5.3. Troceado del vector de datos inicial .....	128
A5.4. Obtención de los espectrogramas y acelerogramas .....	129
Anexo 6. Gráficos de aceleraciones y espectrogramas.....	132