

ÍNDICE GENERAL

1. Introducción	1
2. Conceptos básicos	5
2.1 Presión sonora y nivel de presión sonora	5
2.2. Medida subjetiva del sonido	14
2.3 Nivel sonoro continuo equivalente	19
2.4 Nivel sonoro equivalente day-evening-night.	22
3. Descripción entorno de medida	23
4. Comparación de niveles sonoros	33
4.1. Introducción	33
4.2 Análisis previo de los niveles L_{DEN} , L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT}	35
4.3 Diferencias entre el nivel L_{DEN} y los niveles L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT}	41
4.4 Influencia de los fines de semana y festivos en medidas de larga duración.	47
5. Técnicas de estimación y predicción de los niveles sonoros L_{DEN}, L_{DAY}, $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT}	55
5.1 Metodología basada en el muestreo	55
5.1.1 <i>Introducción</i>	55
5.1.2 <i>Estimación de los niveles anuales (larga duración)</i>	57
5.1.3 <i>Número de días de medición de niveles sonoros para la estimación de períodos de 7, 14 y 28 días.</i>	68
5.1.4 <i>Número de horas de medición para la estimación de los niveles sonoros diarios.</i>	79

5.2 Ajuste estadístico de los niveles sonoros.....	95
5.2.1 <i>Introducción</i>	95
5.2.2 <i>Análisis y resultados</i>	101
5.3 Modelo matemático de serie temporal.....	123
5.3.1 <i>Introducción</i>	123
5.3.2 <i>Modelo para los niveles sonoros.</i>	125
5.3.2.1. <i>Modelo determinista</i>	125
5.3.2.2. <i>Volatilidad</i>	127
5.3.2.3. <i>Reversión a la media</i>	128
5.3.2.4. <i>Estimación de parámetros</i>	130
5.3.2.5. <i>Procedimiento de cálculo</i>	134
5.3.3 <i>Resultados del modelo en la localización A.</i>	136
5.3.4 <i>Comparación y resultados del modelo en todas las</i> <i>localizaciones</i>	143
6. Líneas de investigación	149
7. Conclusiones.....	151
8. Bibliografía	161

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1. Evolución de la presión sonora en función del tiempo.....	5
Figura 2.2. Sonido con presión sonora de distinta frecuencia.....	6
Figura 2.3. Longitud de onda del sonido.....	6
Figura 2.4. Sonido periódico simple.....	7
Figura 2.5. Sonido periódico complejo.....	8
Figura 2.6. Sonido aleatorio.....	8
Figura 2.7. Sonido transitorio.....	8
Figura 2.8. Descomposición de un sonido en bandas de octava y tercios de octava.....	9
Figura 2.9. Isolíneas de igual sonoridad de Fletcher-Munson.....	15
Figura 2.10. Sonoridad en relación al nivel de presión sonora y la frecuencia.....	15
Figura 2.11. Ponderación frecuencial A,B, C.....	16
Figura 2.12. Gráfica de niveles equivalentes de 1 segundo, 1 minuto y cinco minutos.....	19
Figura 2.13. Gráfica de niveles equivalentes de 1 hora y 24 horas.....	20
Figura 3.1. Evolución del nivel sonoro L_{DEN} en cada una de las localizaciones.....	24
Figura 3.2. Evolución del nivel sonoro L_{DAY} en cada una de las localizaciones.....	25
Figura 3.3. Evolución del nivel sonoro $L_{EVENING}$ en cada una de las localizaciones.....	25
Figura 3.4. Evolución del nivel sonoro L_{NIGHT} en cada una de las localizaciones.....	25
Figura 4.1. Niveles mensuales L_{DEN} en distintos años en la localización D.....	36
Figura 4.2. Desviación típica mensual (niveles L_{DEN} , L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT}) en la localización D.....	38
Figura 4.3. Nivel sonoro y desviación típica mensual del nivel L_{DEN} en localización C.....	39
Figura 4.4. Nivel sonoro y desviación típica mensual del nivel L_{DEN} en localización D.....	39
Figura 4.5. Evolución temporal diaria de la diferencia entre el nivel L_{DEN} y los niveles L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT} en la localización B.....	42
Figura 4.6. Evolución de las diferencias mensuales entre el nivel L_{DEN} y los niveles L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT} para la localización A.....	44
Figura 4.7. Evolución diaria de las diferencias $L_{DAY} - L_{EVENING}$ y $L_{DAY} - L_{NIGHT}$ en la localización A.....	45
Figura 4.8. Evolución diaria de la diferencia $L_{DAY} - L_{EVENING}$ en la localización E.....	45
Figura 5.1.1. Banda prob. ± 1 dB para la estrategia de días continuos y nivel L_{DEN}	61
Figura 5.1.2. Banda prob. ± 1 dB para la estrategia de días aleatorios y nivel L_{DEN}	62
Figura 5.1.3. Probabilidad banda ± 1 dB de cada uno de los niveles sonoros para la estrategia de días continuos todos los días y sólo días laborables en la localización B.....	64

Figura 5.1.4. Probabilidad banda ± 1 dB de cada uno de los niveles sonoros para la estrategia de días aleatorios todos los días y sólo días laborables en la localización B	64
Figura 5.1.5. Correlación entre el error medido y la desviación típica de la muestra para la estrategia de 5 días aleatorios.....	65
Figura 5.1.6. Tiempo de estabilización del nivel L_{DEN} de 28 días de una muestra	68
Figura 5.1.7. Media y rango de variación entre el nivel de cada hora y el correspondiente a cada periodo (DAY, EVENING y NIGHT) para el año 2002 en la localización D.....	81
Figura 5.1.8. Histogramas del error en la estimación del nivel diario L_{DEN} en base a la medición de una hora dentro de cada franja horaria para cada una de las localizaciones.....	89
Figura 5.2.1. Valor del nivel sonoro $L_{Aeq,1h}$ el 18 junio de 2001 en la localización A	95
Figura 5.2.2. Evolución diaria de los niveles sonoros $L_{eq,1h}$ correspondientes a distintos días en la localización A (año 2001).....	96
Figura 5.2.3. Distribución estadística para las variables normalizadas $L_{eq,1h,i} - L_{DAY,i}$, del año 2002 en la localización A	103
Figura 5.2.4. Distribución estadística para las variables normalizadas $L_{eq,1h,i} - L_{EVENING,i}$ del año 2002 en la localización A	104
Figura 5.2.5. Distribución estadística para las variables normalizadas $L_{eq,1h,i} - L_{NIGHT,i}$ del año 2002 en la localización A	104
Figura 5.2.6. Ajuste de diferentes distribuciones estadísticas.....	108
Figura 5.2.7. Ajuste a la distribución empírica Johnson SU para una hora específica dentro de cada período horario en la localización A y en distintos años.....	120
Figura 5.2.8. Ajuste a la distribución empírica Johnson SU para una hora específica dentro de cada período horario en la localización E y en distintos años	121
Figura 5.2.9. Ajuste a distribuciones estadísticas Johnson SU de distintas horas dentro de la franja DAY en el año 2004 para la localización A.....	122
Figura 5.3.1. Gráfica de autocorrelación para el nivel L_{DAY} en la localización A	127
Figura 5.3.2. Esquema de procedimiento de cálculo del modelo.....	135
Figura 5.3.3. Modelo determinista sobre datos reales en el año 2004 para el nivel L_{DEN}	138
Figura 5.3.4. Función de autocorrelación parcial de los residuos del nivel L_{DEN}	141
Figura 5.3.5. Valor medio e intervalos de confianza de la simulación del modelo correspondientes al nivel L_{DEN}	142

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Frecuencias en bandas de octava y tercios de octava.....	10
Tabla 2.2. Valores típicos de niveles sonoros	12
Tabla 2.3. Ponderación frecuencial A, B y C.....	17
Tabla 4.1. Promedio anual (dB) correspondiente al nivel L_{DEN} en distintas localizaciones	35
Tabla 4.2. Rango de las medias mensuales (dB) correspondientes al nivel L_{DEN}	36
Tabla 4.3. Intervalo medio de la diferencia entre el nivel anual y el nivel mensual contemplando todos los años (en dB).	37
Tabla 4.4 Rango de la desviación típica mensual contemplando todos los años. (en dB)	40
Tabla 4.5 Estadísticos (en dB) de la diferencia diaria entre el nivel L_{DEN} y los niveles L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT} para todas las localizaciones y contemplando todos los años	41
Tabla 4.6. Rango de variación mensual (en dB) de las diferencias $L_{DAY} - L_{EVENING}$ y $L_{DAY} -$ L_{NIGHT} para cada una de las estaciones contemplando todos los años.....	46
Tabla 4.7. Valor promedio anual L_{DEN} (en dB) correspondiente a días laborables.....	47
Tabla 4.8. Valor promedio anual de los días laborables y de todos los días para los niveles L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT} (en dB) en cada localización	48
Tabla 4.9. Margen de la diferencia en el promedio mensual (en dB), a lo largo del año, entre el nivel de todos los días y el nivel correspondiente a los días laborables.....	49
Tabla 4.10. Diferencia en el valor medio y rango de variación (en dB) para la desviación típica correspondiente a tomar los días laborables respecto de tomar todos los días. (para el 95% datos).....	50
Tabla 4.11. Desviaciones típicas mensuales de los niveles L_{DEN} , L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT} para la localización D correspondientes al año 2002	51
Tabla 4.12. Medias anuales (en dB) para cada una de las series $L_{DEN} - L_{DAY} / L_{DEN} - L_{EVENING}$ $/ L_{DEN} - L_{NIGHT}$	52
Tabla 4.13. Valor medio para las desviaciones típicas mensuales (dB) correspondientes a las series $L_{DEN} - L_{DAY} / L_{DEN} - L_{EVENING} / L_{DEN} - L_{NIGHT}$	53
Tabla 5.1.1. Estadísticos del error cometido en la estimación del nivel anual L_{DEN} (en dB) al tomar estrategias de medición de días continuos y aleatorios correspondientes en la localización A.....	58
Tabla 5.1.2. Estadísticos del error cometido en la estimación de niveles sonoros anuales (en dB) al tomar estrategias de medición de días continuos y aleatorios correspondientes a los niveles L_{DAY} , $L_{EVENING}$ (L_E) y L_{NIGHT} (L_N) en la localización A.....	59

Tabla 5.1.3. Probabilidad de la banda [-1; +1] dB para cada nivel sonoro y localización correspondiente a la estrategia de días continuos. ($L_E = L_{\text{EVENING}}$; $L_N = L_{\text{NIGHT}}$)	60
Tabla 5.1.4. Probabilidad de la banda [-1; +1] dB para cada nivel sonoro y localización correspondiente a la estrategia de días aleatorios. ($L_E = L_{\text{EVENING}}$; $L_N = L_{\text{NIGHT}}$)	60
Tabla 5.1.5. Porcentaje de muestras dentro de la banda ± 1 dB y fuera de la banda del 90% de probabilidad para las muestras con desviación típica superior a 2 dB en la localización A.....	66
Tabla 5.1.6. Tiempo de estabilización (en días) para cada nivel sonoro y localización para distintos períodos de estimación	70
Tabla 5.1.7. Porcentaje de muestras con un determinado número de días como tiempo de estabilización, $t_{\pm 1\text{dB}}$, para el nivel L_{DEN}	72
Tabla 5.1.8. Porcentaje de muestras con un determinado número de días como tiempo de estabilización, $t_{\pm 1\text{dB}}$, para el nivel L_{DAY}	73
Tabla 5.1.9. Porcentaje de muestras con un determinado número de días como tiempo de estabilización, $t_{\pm 1\text{dB}}$, para el nivel L_{EVENING}	74
Tabla 5.1.10. Porcentaje de muestras con un determinado número de días como tiempo de estabilización, $t_{\pm 1\text{dB}}$, para el nivel L_{NIGHT}	75
Tabla 5.1.11. Porcentaje de muestras con un margen de error ± 1 dB al tomar un determinado número de días como tiempo de estabilización, $t_{\pm 1\text{dB}}$, correspondiente a la estimación de períodos de 28 días laborables.	77
Tabla 5.1.12. Tiempo de estabilización (en días) para los niveles L_{DEN} , L_{DAY} , L_{EVENING} y L_{NIGHT} correspondientes a la estimación de 7, 14 y 28 días laborables contemplando todas las localizaciones (para el 95% datos).....	78
Tabla 5.1.13. Media (μ) y desviación típica (σ_{n-1}) para la serie normalizada $L_{\text{eq.1h}} - L_{\text{periodo}}$ de cada hora del año 2004. (dB).....	80
Tabla 5.1.14. Media anual (μ) y desviación típica (σ_{n-1}) para la serie de datos $L_{\text{eq.1h}} - L_{\text{periodo}}$ de cada hora y distintos años para la localización B. (dB).....	82
Tabla 5.1.15. Margen de variación entre cada una de las horas de la franja horaria para el valor medio y la desviación típica de las series, $L_{\text{eq.1hour}} - L_{\text{DAY}}$, $L_{\text{eq.1hour}} - L_{\text{EVENING}}$ y $L_{\text{eq.1hour}} - L_{\text{NIGHT}}$, en todas las localizaciones. (dB)	83
Tabla 5.1.16. Estadísticas del error en base a una hora de medición en cada una de las localizaciones considerando todos los años. (dB).....	84
Tabla 5.1.17. Porcentaje de muestras con un margen de error ± 1 dB y ± 2 dB para la estimación de los niveles sonoros diarios L_{DAY} , L_{EVENING} y L_{NIGHT} a partir de mediciones en continuo de un determinado número de horas.....	85

Tabla 5.1.18. Porcentaje de muestras con un margen de error ± 1 dB y ± 2 dB para la estimación de los niveles sonoros diarios L_{DAY} , $L_{EVENING}$ y L_{NIGHT} a partir de mediciones de un determinado número de horas aleatorias	86
Tabla 5.1.19. Estadísticos del error en la estimación del nivel diario L_{DEN} en base a la medición de una hora dentro de cada franja horaria. (dB)	88
Tabla 5.1.20. Estadística del error cometido en la estimación de períodos de 7, 14 y 28 días a partir de medidas de una hora de duración en la localización A. (dB).....	91
Tabla 5.1.21. Estadísticos del error correspondientes a la estimación de la media del nivel sonoro correspondiente a 28 días laborables a partir de medidas de una hora de duración (dB)	92
Tabla 5.2.1. Media, μ , y desviación típica, σ_{n-1} , para cada una de las horas de las series: $L_{eq,1h} - L_{NIGHT}$, $L_{eq,1h} - L_{DAY}$, $L_{eq,1h} - L_{EVENING}$ contemplando todos los años.....	102
Tabla 5.2.2. Media anual (μ), y desviación típica (σ) en diferentes años para cada una de las series normalizadas $L_{eq,1h,i} - L_{DAY,i}$, $L_{eq,1h,i} - L_{EVENING,i}$ y $L_{eq,1h,i} - L_{NIGHT,i}$ en la localización D.....	105
Tabla 5.2.3. Porcentaje de horas que superan los test de hipótesis en cada localización contemplando todas las horas y todos los años	107
Tabla 5.2.4. Porcentaje de horas que superan los tests de hipótesis en cada localización y para cada franja horaria contemplando todos los años.....	109
Tabla 5.2.5. Porcentaje de años que ajustan a las distribuciones Log-Logistic3P y Johnson SU para cada una de las horas del día	111
Tabla 5.2.6. Porcentaje de años que ajustan a alguna distribución estadística para cada una de las horas del día y localización.....	112
Tabla 5.2.7. Parámetros del ajuste a la distribución Johnson SU para cada una de las horas de la localización A correspondientes al año 2005	113
Tabla 5.2.8. Parámetros del ajuste a la distribución Johnson SU para cada una de las horas de la localización B correspondientes al año 2005.....	114
Tabla 5.2.9. Parámetros del ajuste a la distribución Johnson SU para cada una de las horas de la localización D correspondientes al año 2005	115
Tabla 5.2.10. Parámetros del ajuste a la distribución Johnson SU para cada una de las horas de la localización E correspondientes al año 2005.....	116
Tabla 5.2.11. Parámetros del ajuste a la distribución estadística Johnson SU en distintos años para la localización A en la franja horaria DAY.....	118
Tabla 5.2.12. Parámetros ajuste a la distribución estadística Johnson SU en distintos años para la localización A en la franja horaria NIGHT	119
Tabla 5.2.13. Parámetros ajuste a la distribución estadística Johnson SU en distintos años	

para la localización A en la franja horaria EVENING	119
Tabla 5.3.1. Modelo determinista para los niveles sonoros en la localización A.....	136
Tabla 5.3.2. Diferencia en el parámetro A, del modelo determinista, para cada día de la semana respecto del nivel del lunes en la localización A.....	137
Tabla 5.3.3. Volatilidad (en dB) y velocidad de reversión (en días ⁻¹) para el nivel L _{DEN}	139
Tabla 5.3.4. Volatilidad (en dB) y velocidad de reversión (en días ⁻¹) para nivel L _{DAY}	139
Tabla 5.3.5. Volatilidad (en dB) y velocidad de reversión (en días ⁻¹) para nivel L _{EVENING}	140
Tabla 5.3.6. Volatilidad (en dB) y velocidad de reversión (en días ⁻¹) para nivel L _{NIGHT}	140
Tabla 5.3.7. Resultados test de los residuos del nivel L _{EVENING} (corchetes p-valor).	141
Tabla 5.3.8. Modelo determinista para los niveles sonoros en la localización B.....	144
Tabla 5.3.9. Modelo determinista para los niveles sonoros en la localización C.....	144
Tabla 5.3.10. Modelo determinista para los niveles sonoros en la localización D.....	144
Tabla 5.3.11. Volatilidades medias (en dB) para cada localización.....	146
Tabla 5.3.12. Valor medio de la velocidad de reversión (en días ⁻¹) en cada localización.....	147