

EVALUACIÓN DE LA TONALIDAD EN BASE A LA EDICIÓN 3.0 DE LA IEC 61400-11

PACS: 43.50.Yw, 43.66.Ki.

Ezcurra, Amaya¹; San Martín, Ricardo¹; Llorente, Elena²; Arana, Miguel¹

¹Laboratorio de Acústica. INAMAT. Universidad Pública de Navarra. Campus de Arrosadia s/n. 31006 Pamplona. Spain.

²R+D & Engineering Acciona Windpower S.A. Avda. Ciudad de la Innovación 3, 31621 Sarriguren (Navarra), Spain.

¹aezcurra@unavarra.es; ¹ricardo.sanmartin@unavarra.es; ²ellorente@acciona.com ;

¹marana@unavarra.es

Palabras Clave: Tonalidad; Audibilidad; Percepción sonora; IEC 61400-11

ABSTRACT

Tonality is a characteristic of noise generally associated with nuisance. Noises with tonal characteristics are often penalized. The definition and evaluation of the tonality in the RD 1367/2007 is simple and clear. In other cases, their evaluation is more problematic and complex, for example in the UNE-EN 61400-11. Based on an extensive and controlled campaign of wind turbine noise measurements, the differences between tonalities evaluated with UNE-EN 61400-11 (Ed.2.1) and its most recent version (Ed. 3.0) have been analyzed. In general, for tones with positive audibility, the determination is clear, independent of the spectral resolution. For negative audibility, the two resolutions do not always identify the same tones.

RESUMEN

La tonalidad es una característica del ruido generalmente asociada a la molestia. Los ruidos con características tonales suelen ser penalizados. La definición y evaluación de la tonalidad en el RD 1367/2007 es sencilla y clara. En otros casos resulta más problemática y compleja su evaluación como, por ejemplo, en la UNE-EN 61400-11. En base a una extensa campaña controlada de medidas de ruido de aerogeneradores, hemos analizado las diferencias entre la tonalidad evaluada con UNE-EN 61400-11 (Ed.2.1) y su versión más reciente (Ed. 3.0). En general, para tonos con audibilidad positiva, la determinación es clara, independiente de la resolución espectral. Para audibilidades negativas, no siempre las dos resoluciones identifican los mismos tonos.

1. INTRODUCCIÓN

Existen características del ruido que confieren al mismo una mayor molestia que lo que indica la cuantía de su LAeq [1,2]. Una de ellas es la existencia de componentes tonales. En concreto, el RD 1367/2007 [3] penaliza entre 0 y 6 dB los niveles sonoros por la existencia de componentes tonales emergentes, basado en análisis en bandas de tercio de octava. La relación entre penalización y tonalidad en este caso ha sido estudiada en algún trabajo previo [4]. Por otra parte, existe normativa para determinar la tonalidad (y su correspondiente audibilidad) de diferentes tipos de ruido basado en análisis espectral mucho más fino; por ejemplo, UNE-EN 61400-11 [5] para ruido de aerogeneradores, o el Standard ECMA-74 [6] para equipamiento TIC. Centraremos nuestro estudio en la evaluación de la tonalidad y determinación de la audibilidad seguida en el estándar UNE-EN 61400-11.

2. AUDIBILIDAD TONAL SEGÚN IEC 61400-11

La Fig. 1 muestra el diagrama de flujo para determinar la audibilidad tonal para cada rango de velocidad del viento. Cada medida requiere el análisis en banda estrecha de un registro de 10 s de duración, medido en paralelo con el nivel sonoro, a fin de medir, también, el promedio energético de dicho periodo. Debe usarse una ventana Hanning con al menos un 50% de solapamiento y el análisis espectral debe realizarse con ponderación A. La resolución frecuencial debe estar entre 1 y 2 Hz, sin precisar el estándar un valor concreto. Realizaremos los análisis tanto con 1 como con 2 Hz de resolución para comprobar si los resultados son idénticos. En la Ed. 2.1 se establecía una resolución de entre 2 y 5 Hz por debajo de 2 kHz y de entre 2 y 12,5 Hz para el rango de 2 a 5 kHz. Aunque resulta más lógico una resolución espectral decreciente para mayores frecuencias, el proceso de cálculo se simplifica con resolución constante. El análisis requerido por la Ed. 3.0 desemboca en un mayor número de tonos detectados, como veremos posteriormente.

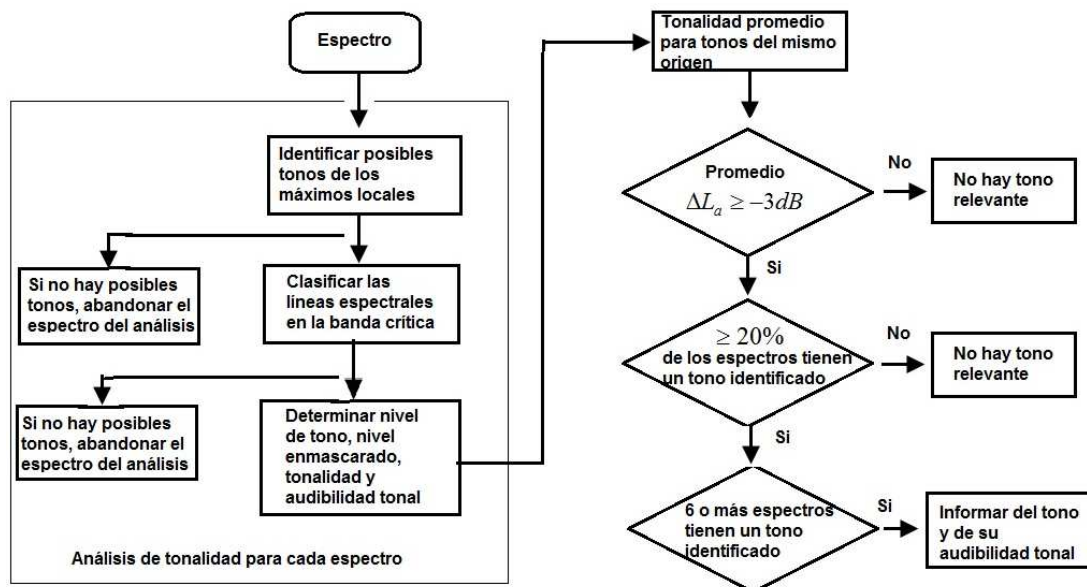


Fig.1 Diagrama de flujo para determinar la audibilidad tonal por rango de velocidad

En la Ed. 2.1 la única referencia a velocidades del viento en las definiciones es la de velocidad del viento estandarizada, a 10 m de altura. En la Ed. 3.0 se introducen diferentes velocidades; altura arbitraria, altura de la nacelle, velocidad estandarizada y normalizada. En la Ed. 2.1 se toman rangos de velocidades de anchura 1 m/s centrados en los valores enteros de 6, 7, 8, 9 y

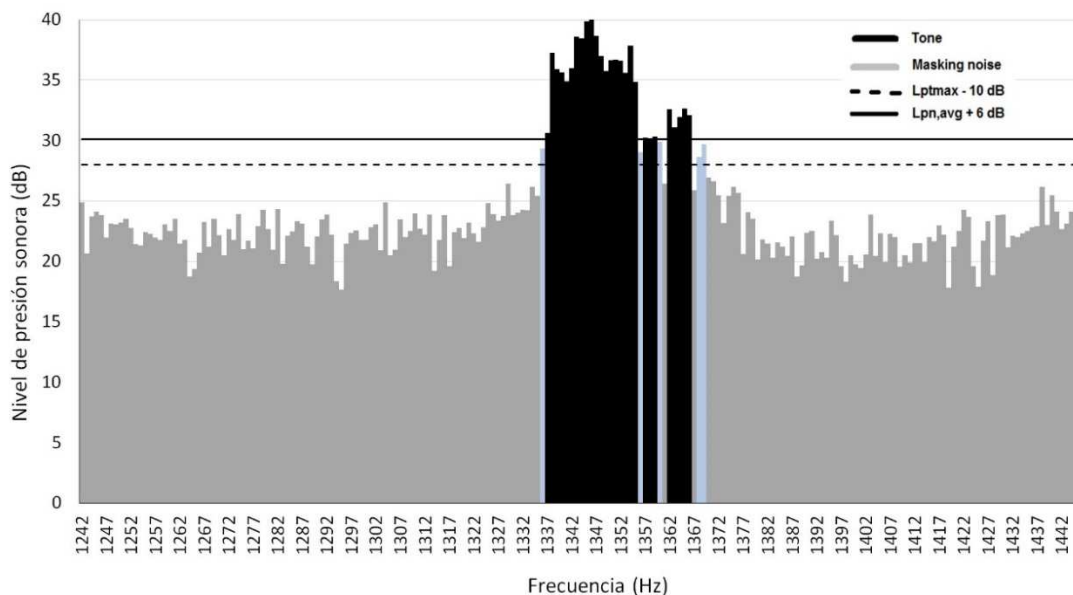
10 m/s. En la Ed. 3.1 los rangos son de anchura 0,5 m/s; aunque no se especifica el número de rangos, es frecuente dar resultados entre 6 y 12 m/s (6,0 / 6,5 / / 12 m/s). Es fundamental realizar previamente el análisis de audibilidad tonal para las medidas de ruido de fondo con el mismo rango de velocidades del viento, para descartar que los posibles tonos sean originados por el ruido de fondo. Pueden ser necesarias entre 10 y 30 medidas de 10 s para determinar la audibilidad de un tono.

La identificación de los posibles tonos comienza con la búsqueda de máximos locales en el análisis espectral. Se sobreentiende que deben localizarse todas las líneas espectrales con nivel superior a sus contiguas. Por simplicidad computacional, se ha supuesto que todas las líneas son tonos potenciales. Para cada frecuencia, se determina la *banda crítica* (criterio de Zwicker) en torno a ella, mediante la expresión:

$$\text{Ancho de Banda Crítica} = 25 + 75 \cdot \left(1 + 1,4 \cdot \left[\frac{f_c}{1000} \right]^2 \right)^{0,69} \quad [1]$$

Como es bien conocido, esta anchura viene a ser de un tercio de octava (una tercera mayor). Tras ello, se calcula el promedio de energía en la banda crítica centrada en el máximo local pero sin incluir la línea del máximo local y las dos adyacentes. Si el nivel del máximo local supera en 6 o más dB el nivel promedio anterior, entonces se trata de un posible tono.

Se clasifican las líneas espectrales dentro de la banda crítica. La banda crítica es de anchura variable, en función de la frecuencia central. No obstante, para tonos entre 20 y 70 Hz, la banda crítica se considera fija, entre 20 y 120 Hz. Tras definir los niveles $L_{70\%}$, criterio de nivel ($L_{70\%} + 6$) y $L_{pn,avg}$, todas las líneas dentro de la banda crítica se clasifican como *tonos*, como *enmascaradas* o como *nada*. Todo ello se muestra en la Fig. 2 para ambas resoluciones. El nivel del tono, L_{pt} , se calcula a partir de la suma energética de todas las líneas espectrales identificadas como tonos dentro de la banda crítica. En nuestro ejemplo, $L_{pt} = 48,63$ dB. La tonalidad, ΔL_{tn} , se define como la diferencia entre el nivel del tono y el nivel de ruido enmascarado, L_{pn} (en nuestro ejemplo, $L_{pn} = 44,09$ dB). En nuestro ejemplo, $\Delta L_{tn} = 4,54$ dB. Finalmente, se determina la audibilidad tonal, ΔL_a , de cada tono, consistente en corregir el valor de la tonalidad por un valor dependiente de la frecuencia, a fin de compensar la diferente respuesta del oído humano en función de la frecuencia. En nuestro ejemplo, $\Delta L_a = 7,65$ dB. Un tono es audible si la audibilidad tonal está por encima de 0 dB. Deben informarse, no obstante, los tonos con audibilidad por encima de -3 dB.



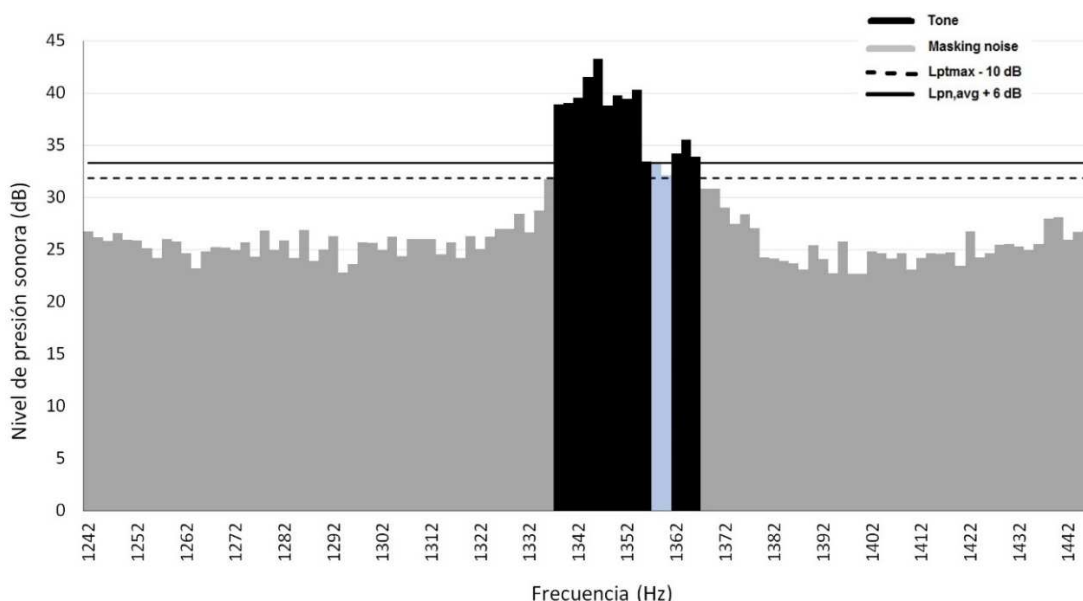


Fig.2 Clasificación de todas las líneas espectrales con resolución de 1 Hz (sup.) y 2 Hz (inf.).

3. DISCUSIÓN

Varios aspectos de la norma merecen ser comentados y discutidos.

3.1 Búsqueda de posibles tonos

En el apartado 9.5.2 del estándar, se identifican los posibles tonos a partir de los máximos locales que cumplen determinado criterio energético dentro de la banda crítica. Esto puede dar varios posibles tonos cercanos. En nuestro ejemplo (representativo de la mayoría de los tonos) esto se cumple para las frecuencias de 1338, 1343, 1346, 1351 y 1354 Hz (resolución de 1 Hz) y para las frecuencias de 1346, 1350 y 1354 Hz (resolución de 2 Hz). No plantea ningún problema el que se identifiquen posibles tonos cercanos. El apartado siguiente del estándar (9.5.3) selecciona el de más alto nivel (1346 Hz en nuestro ejemplo) y ‘reclasifica’ definitivamente el resto de líneas. Dicha frecuencia será la frecuencia del tono.

3.2 Tonalidad y audibilidad de los tonos

La línea espectral con más alto nivel se ha seleccionado como la frecuencia del tono. Ello no implica que dicha frecuencia sea la de mayor tonalidad o audibilidad. Por ejemplo, los valores obtenidos para este ejemplo se muestran en la Tabla 1.

Como vemos, los valores de todos los índices definidos son prácticamente idénticos para todas las frecuencias. Si bien tanto la tonalidad como la audibilidad tonal no son máximas en la frecuencia donde se define el tono (máximo nivel del análisis espectral, 1346 Hz en este caso) las diferencias son inferiores a 0,1 dB. Ambas resoluciones espectrales identifican claramente el tono y sus características. Para los tonos con audibilidad positiva, los resultados con resolución de 1 y 2 Hz son, en la práctica, idénticos. Para tonalidades bajas (especialmente con audibilidad por debajo de -1 dB, hasta -3 dB) se dan ligeras diferencias. Las únicas diferencias reseñables encontradas para resoluciones de 1 y 2 Hz son en la determinación de tonos del ruido de fondo, encontrándose tonalidades con resolución de 1 Hz pero no con resolución de 2 Hz. Además, ello solo sucede para bajas velocidades del viento y frecuencias en torno a 250 Hz.

Tabla 1. Resultados de tonalidad y audibilidad (Freq en Hz; Índices en dB)

Freq	L _{pt}	L _{pn}	ΔL_{pn}	ΔL_a		Freq	L _{pt}	L _{pn}	ΔL_{pn}	ΔL_a
1338	48,63	43,98	4,65	7,75		1338	48,56	44,18	4,38	7,48
1339	48,63	44,00	4,63	7,73						
1340	48,63	44,05	4,58	7,68		1340	48,56	44,18	4,38	7,48
1341	48,63	44,05	4,58	7,68						
1342	48,63	44,06	4,57	7,67		1342	48,56	44,19	4,37	7,48
1343	48,63	44,07	4,56	7,66						
1344	48,63	44,09	4,54	7,64		1344	48,56	44,21	4,36	7,46
1345	48,63	44,07	4,56	7,67						
1346	48,63	44,08	4,55	7,65		1346	48,56	44,20	4,36	7,47
1347	48,63	44,08	4,55	7,65						
1348	48,63	44,08	4,55	7,66		1348	48,56	44,22	4,34	7,45
1349	48,63	44,10	4,53	7,64						
1350	48,63	44,10	4,53	7,64		1350	48,56	44,23	4,33	7,44
1351	48,63	44,10	4,53	7,64						
1352	48,63	44,09	4,54	7,65		1352	48,56	44,22	4,35	7,46
1353	48,63	44,09	4,54	7,65						
1354	48,63	44,09	4,54	7,65		1354	48,56	44,22	4,35	7,46
1355	48,63	44,08	4,55	7,66						

3.3 Dispersión de los resultados

Cuando se detecta un tono con resoluciones de 1 y 2 Hz, los resultados suelen ser (tal como los mostrados en el párrafo anterior) muy similares. No obstante, existe una cierta dispersión en los resultados. A modo de ejemplo, se muestran en las tablas 2 y 3 los resultados de las frecuencias tonales y sus correspondientes audibilidades para 10 registros de 10 s correspondientes a velocidades en el rango de 10,5 m/s de velocidad del viento. Se vuelve a comprobar que las tonalidades con audibilidad positiva elevada son bastante repetitivas y muy similares con ambas resoluciones. Tonalidades con reducida audibilidad no siempre se reproducen en ambas resoluciones.

Tabla 2 Tonalidad y audibilidad para 10 medidas de 10 s (Resolución espectral de 1 Hz)

Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.
20	10,8	20	11,2	21	9,9	22	9,2	24	7,5	21	11,5	20	10,9	21	11,4	20	5,9	20	5,7
93	3,8	94	2,8	672	-2,2	627	-1,9	93	2,0	93	3,2	93	3,2	93	4,4	95	0,8	94	1,7
224	-2,6	673	-2,9	673	-2,2	628	-1,9	146	0,4	625	-0,6	146	-1,9	94	4,2	638	-0,5	95	1,5
620	2,3	686	-1,3	697	-1,8	629	-1,9	184	-1,0	626	-0,5	184	-1,8	224	-2,8	639	-0,4	630	-1,3
621	2,4	1251	-1,4	1217	-1,3	672	-1,2	224	-2,2	627	-0,6	224	-1,0	572	-2,3	640	-0,5	632	-1,0
622	2,4	1252	-1,4	1258	0,9	673	-1,2	626	-0,9	672	1,1	292	0,7	625	0,3	672	0,5	672	0,7
623	2,4	1330	0,7	1281	1,4	684	-1,0	627	-0,9	673	1,3	623	-2,4	626	0,3	673	0,5	673	0,7
672	3,2	1331	0,7	1282	1,4	1227	0,9	672	0,2	684	1,5	624	-2,4	627	0,3	1251	4,4	687	1,1
673	3,2	1332	0,7	1328	1,4	1228	0,8	673	0,2	1223	2,4	625	-2,4	628	0,3	1253	4,3	1232	0,9
674	3,3	1333	0,7	1329	1,5	1229	0,8	1223	3,6	1224	2,4	626	-2,4	672	0,7	1254	4,3	1233	0,9
675	3,3	1334	0,5	1336	1,9	1230	0,8	1224	3,6	1225	2,4	672	-0,7	673	0,7	1255	4,2	1237	0,4
676	3,3	1335	0,5	1543	4,5	1231	0,7	1225	3,6	1226	2,4	673	-0,6	683	1,2	1256	4,2	1239	0,8
677	3,4	1518	5,6	1547	4,5	1232	0,6	1226	3,6	1227	2,4	1219	-0,7	1223	2,2	1278	4,3	1322	2,9
1213	2,0	1520	5,6	1551	4,5	1327	3,4	1227	3,6	1228	2,4	1220	-0,7	1224	2,2	1279	4,3	1333	3,1
1214	2,0	1521	5,6	1552	4,5	1328	3,3	1228	3,6	1229	2,5	1221	-0,7	1225	2,2	1281	4,3	1334	2,9
1215	1,9	1526	5,6	1553	4,5	1329	2,7	1229	3,6	1230	2,6	1222	-0,8	1226	2,2	1330	4,6	1338	2,5
1216	1,9	1529	5,7	1554	4,6	1330	2,4	1252	4,9	1231	3,0	1223	-0,8	1227	2,1	1331	4,6	1340	2,3
1217	2,0	1530	5,7	1555	4,6	1331	1,8	1253	4,9	1325	5,0	1224	-0,8	1228	2,3	1332	4,6	1341	2,2
1218	1,9	1531	5,7	1556	4,6	1333	1,2	1325	5,3	1326	4,6	1225	-0,8	1230	2,6	1334	4,6	1531	4,5
1243	3,2	1532	5,7	1557	4,6	1524	4,2	1326	5,0	1327	4,3	1226	-0,5	1325	4,6	1546	6,5	1533	4,5
1244	3,2	1533	5,8	1558	4,6	1525	4,2	1327	4,4	1328	3,9	1319	1,7	1326	4,3	1547	6,5	1534	4,5
1314	3,2	1535	5,8	1560	4,6	1526	4,2	1328	3,9	1329	3,4	1320	1,4	1327	3,9	1548	6,5	1535	4,5
1315	3,0	1536	5,8			1527	4,2	1329	3,1	1330	3,2	1321	0,8	1328	3,6	1549	6,5	1536	4,5
1316	2,7	1539	5,9			1528	4,2	1521	5,4	1331	2,9	1322	0,3	1329	3,4	1550	6,6	1537	4,5
1317	2,4	1540	5,9			1529	4,2	1522	5,5	1332	2,7	1325	-0,5	1330	2,8	1551	6,6	1538	4,6
1511	5,4	1542	5,9			1530	4,3	1523	5,5	1333	2,5	1517	5,2	1521	5,2	1552	6,6	1539	4,6
1512	5,4	1549	6,0			1531	4,2	1524	5,5	1521	2,8	1518	5,2	1522	5,2	1553	6,6	1540	4,6
1513	5,4	1551	6,1			1532	4,3	1525	5,5	1523	2,8	1519	5,2	1523	5,2	1554	6,6	1541	4,6
1514	5,4	1552	6,1			1533	4,3	1526	5,5	1524	2,8	1520	5,2	1524	5,2	1555	6,6	1542	4,6
1515	5,4					1534	4,3	1527	5,5	1525	2,8	1521	5,2	1525	5,2	1556	6,6	1543	4,6
1516	5,4					1535	4,3	1528	5,5	1526	2,8	1522	5,2	1526	5,2	1557	6,7	1544	4,6
1517	5,4					1538	4,3	1530	5,5	1527	2,8	1523	5,2	1527	5,2	1558	6,7	1545	4,6
1518	5,5					1539	4,3	1531	5,5	1528	2,8	1524	5,2	1528	5,2	1559	6,7		
1519	5,5							3014	-0,5	1530	2,9	1525	5,2	1529	5,2	3073	-1,9		
1520	5,5							3016	-0,5	1531	2,8	1526	5,3	1530	5,2	3074	-1,9		
2988	-2,2							3017	-0,5	1532	2,9	1527	5,3	1531	5,2	3075	-1,9		
2989	-2,2							3018	-0,4	3014	-1,9	1528	5,3	1532	5,2	3078	-1,9		
2990	-2,2							3019	-0,4	3015	-1,9	3002	-0,9	3013	-1,7	3079	-1,9		

Tabla 3 Tonalidad y audibilidad para 10 medidas de 10 s (Resolución espectral de 2 Hz)

Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.	Fr.	Aud.
20	10,9	20	10,3	20	10,2	22	9,3	24	7,6	20	11,6	20	10,8	22	10,9	20	5,9	20	4,4
224	-1,8	94	4,0	1282	0,9	626	-2,2	184	-0,6	626	-0,5	92	4,1	94	4,3	96	1,7	630	-1,5
620	1,8	224	-2,9	1328	1,1	628	-2,2	224	-3,0	672	0,9	94	3,8	626	-0,2	638	-0,1	632	-1,5
622	1,9	1252	-1,4	1336	1,2	672	-1,2	626	-1,6	684	1,1	184	-1,6	628	-0,2	640	0,0	672	0,9
672	2,9	1330	0,3	1544	4,5	684	-1,0	672	0,5	1224	2,7	224	-1,8	672	1,1	672	0,5	686	1,1
674	2,9	1332	0,4	1546	4,5	1226	0,4	1224	3,7	1226	2,6	624	-2,8	682	1,4	674	0,5	1234	0,8
676	3,0	1334	0,4	1552	4,5	1228	0,3	1226	3,7	1228	2,6	626	-2,8	1224	2,2	1252	3,9	1238	0,6
1212	1,7	1520	5,5	1554	4,6	1230	0,3	1228	3,7	1230	2,9	672	-0,4	1226	2,1	1254	3,6	1322	2,9
1214	1,7	1526	5,6	1556	4,6	1232	0,7	1252	5,1	1326	5,0	1220	-0,9	1228	2,1	1256	3,5	1334	3,3
1216	1,7	1528	5,6	1558	4,7	1328	3,3	1254	5,1	1328	4,5	1222	-1,0	1230	2,4	1278	3,6	1336	3,0
1218	1,6	1530	5,6	1560	4,6	1330	2,9	1324	5,6	1330	3,5	1224	-1,0	1326	4,3	1330	3,7	1338	2,7
1244	2,8	1532	5,6			1332	2,0	1326	5,4	1332	3,2	1226	-1,0	1328	3,6	1332	3,7	1340	2,5
1314	3,7	1534	5,6			1524	3,9	1328	4,7	1524	2,9	1320	1,5	1330	3,0	1334	3,7	1530	4,7
1316	2,6	1536	5,7			1526	3,9	1522	5,7	1526	3,0	1322	0,4	1522	5,1	1546	6,5	1532	4,7
1510	5,0	1540	5,8			1528	3,9	1524	5,7	1528	3,0	1326	-0,4	1524	5,1	1548	6,5	1534	4,7
1512	5,0	1542	5,8			1530	3,9	1526	5,7	1530	3,0	1518	5,4	1526	5,1	1550	6,5	1536	4,7
1514	5,0	1552	6,0			1532	3,8	1528	5,7	1532	3,0	1520	5,4	1528	5,1	1552	6,5	1538	4,7
1516	5,0					1534	3,9	1530	5,8	3014	-1,8	1522	5,4	1530	5,1	1554	6,5	1540	4,7
1518	5,0					1538	3,9	3014	-0,4	3018	-1,8	1524	5,4	1532	5,1	1556	6,5	1542	4,7
1520	5,1							3016	-0,4	3020	-1,8	1526	5,4	3014	-1,5	1558	6,5	1544	4,7
2988	-2,3							3018	-0,4	3022	-1,8	3002	-0,8	3018	-1,5	3074	-2,5		
2990	-2,3							3020	-0,4	3024	-1,7	3006	-0,8	3020	-1,5	3076	-2,5		

4. RESULTADOS GLOBALES

Las tablas 2 y 3 muestran las frecuencias de los tonos y la audibilidad tonal de los mismos según las dos ediciones de la norma. La audibilidad mostrada es el promedio energético de 10 audibilidades tonales obtenidas en 10 medidas de 10 s cada una (y que cumplan los requisitos de la norma). Así como las audibilidades resultan ser casi idénticas con las dos resoluciones (1 y 2 Hz) las audibilidades de diferentes medidas (dentro del mismo rango de velocidades) suelen tener bastante dispersión. Como ejemplo, la audibilidad de 5,46 dB para el rango de 10 m/s es promedio energético de audibilidades con valores desde 3,5 dB hasta 7,2 dB. Los resultados de los que dispusimos incluían la velocidad promedio del viento cada minuto de medida. Sin embargo, dividiendo un registro de 10 s en periodos de 1 s, la audibilidad de un tono (p.ej. 1340Hz) varía entre 2 y 7 dB si se hacen medidas cada 1s, siendo de 4dB el resultado global de los 10 s.

La velocidad del viento (Tabla 4) es la velocidad estandarizada, medida a 10 m de altura. La velocidad del viento (Tabla 5) es la velocidad derivada de la medida en la nacelle.

Tabla 4. Tonalidad y audibilidad (ΔLa en dBA) para diferentes velocidades del viento, en m/s, según IEC 61400-11 (Ed. 2.1)

Vel (10m)	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Fr , Hz	1345	1339	1341	1354	1348
ΔLa	-1,60	0,68	3,37	4,04	3,29

Tabla 5. Tonalidad y audibilidad (ΔLa en dBA) para diferentes velocidades del viento, en m/s, según IEC 61400-11 (Ed. 3.0)

Vel (hub)	8,0	8,5	9,0	9,5	10,0	10,5	11,0	11,5	12,0	12,5
Fr 1, Hz	1244	1318	1341	1345	1336	1340	1342	1347	1352	1351
ΔLa 1	-1,98	0,73	4,72	5,95	5,46	6,11	5,74	6,17	5,86	5,59
Fr 2, Hz	1524	1581	1626	1638	1632	1634	1633	1673	1652	1658
ΔLa 2	-0,49	0,79	-0,85	-1,28	-0,51	1,28	-0,35	0,05	-0,85	-1,22
Fr 3, Hz			3238	3277		3273		3360		
ΔLa 3			-2,66	-2,51		-2,64		-2,88		

5. CONCLUSIONES

Se ha descrito el procedimiento para determinar la audibilidad tonal del ruido de aerogeneradores, la cual representa una medida objetiva de una característica acústica psicofísica del paisaje sonoro bien definido que configuran los parques eólicos. Se ha descrito, fundamentalmente, el procedimiento seguido por la Ed. 3.0 de la IEC 61400-11. El análisis requerido por la Ed. 3.0 desemboca en un mayor número de tonos detectados, respecto de los detectados por la Ed. 2.1

En la Ed. 3.0 la selección del tono (frecuencia y nivel) resulta objetiva. Para los tonos con audibilidad positiva, los resultados con resolución de 1 y 2 Hz son, en la práctica, idénticos. Para tonalidades bajas (especialmente con audibilidad por debajo de -1 dB, hasta -3 dB) se dan ligeras diferencias. Las únicas diferencias reseñables encontradas para resoluciones de 1 y 2 Hz son en la determinación de tonos del ruido de fondo, encontrándose tonalidades con resolución de 1 Hz pero no con resolución de 2 Hz.

Las audibilidades de diferentes medidas (dentro del mismo rango de velocidades) suelen tener bastante dispersión. Creemos que tal variabilidad está motivada por la variabilidad de la velocidad del viento dentro de los 10 s de medida, aunque ello requerirá de un estudio posterior con medidas programadas para tal finalidad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad a través del proyecto de Investigación I+D+I con referencia BIA2016-76957-C3-2-R

REFERENCIAS

- [1] E. Zwicker y E. Terhardt, *Facts and models in hearing*, Springer Verlag. New York 1974.
- [2] Dau, T.; Hohmann, V. and Kollmeier, B. (Ed.), *Psychophysics, Physiology and Models of Hearing*, World Scientific Publishing, ISBN 981-02-3741-3, Singapore, 1999
- [3] RD 1367/2007, BOE n. 254, pp: 42952-73. (2007).
- [4] Machín, J.; Arregui, A.; San Martín, R.; Arana, M. Análisis de la penalización por tonalidad en el RD 1367/2007 y su relación con la audibilidad tonal. VIII Congreso Iberoamericano de Acústica, Évora, Portugal, 1-3 octubre 2012.
- [5] IEC 61400-11, Ed. 3.0, Wind turbines- Part 11: Acoustic noise measurements techniques. IEC, Geneva, Switzerland (2012)
- [6] ECMA-74. Measurement of Airborne Noise emitted by Information Technology and Telecommunications Equipment. 13th Edition, June 2015. Geneva, Switzerland.