

Análisis de las diferencias entre los descriptores acústicos NPS_{eq} y $NPS_{máx}$ para maquinaria utilizada en faenas de construcción reguladas por el D. S. N° 38/2011 MMA.

M. Glisser^{a,b} & A. Santos^b

^a *Acustical, Villaseca 21, Oficina 1104, Ñuñoa, Santiago, Chile,*

^b *Control Acústico (Gerard Ing. Acústica SpA.), Villaseca 21, Oficina 1105, Ñuñoa, Santiago, Chile*
mglisser@acustical.cl, www.acustical.cl

RESUMEN: El Decreto Supremo N° 38/2011 [1] del Ministerio del Medio Ambiente de la República de Chile establece en el título V “procedimientos de medición” artículo 18, letra a) que se deberá elegir el mayor valor entre el NPS_{eq} y el $NPS_{máx}$ disminuido en 5 dB(A) como parte del proceso de obtención del Nivel de Presión Sonora Corregido (NPC), por lo cual es relevante analizar cómo se relacionan estos dos descriptores en faenas de construcción, sobre todo por su efecto en el ámbito en la predicción de niveles de ruido mediante modelaciones. El trabajo presenta un análisis de las diferencias entre los niveles de presión sonora máximo en dB(A) lento y los niveles de presión sonora equivalentes en dB(A) medidos entre abril y mayo de 2014 en faenas de construcción de infraestructura de transporte en Santiago de Chile. Las maquinarias consideradas son, entre otras, retroexcavadoras, bombas de hormigón, grúas y esmeriles angulares.

KEYWORDS: Ruido, DS 38/2011 MMA, ruido de construcción, predicción de ruido

1 INTRODUCCIÓN

El 12 de junio de 2014 entró en funcionamiento completo el Decreto Supremo N°38/2011 [1] del Ministerio del Medio Ambiente - Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica, el cual tiene como origen la revisión del Decreto Supremo N° 146/97 del MINSEGPRES, el cual es actualizado y perfeccionado, a fin de obtener un instrumento jurídico eficaz y eficiente, y que permitiera proteger adecuadamente a la comunidad (1).

Entre los cambios introducidos en la nueva normativa se encuentra la desplegada en el artículo 18° *La evaluación y obtención de niveles de presión sonora corregido (NPC), se realizará según el siguiente procedimiento:*

- a) *Para cada medición realizada, se elegirá el mayor valor entre el NPS_{eq} y el $NPS_{máx}$ disminuido en 5 dB(A), y se calculará el promedio aritmético de los valores obtenidos.*

De lo anterior se infiere que, en cualquier caso, es indispensable contar con valores de NPS_{eq} y $NPS_{máx}$.

Por su parte, para efectuar predicciones de niveles de ruido para proyectos, en el marco del Servicio de Evaluación Ambiental (SEA) [2], se utilizan habitualmente bases de datos de potencia acústica que están relacionadas con los NPS_{eq} de las maquinarias, es decir la integración de la energía en un cierto periodo de tiempo y por lo tanto, es de importancia estudiar la relación que existe entre el NPS_{eq} y $NPS_{máx}$, permitiendo de esta forma el uso adecuado de dichas bases de datos disponibles.

El presente estudio revisa la relación entre el NPS_{eq} y el $NPS_{máx}$ disminuido en 5 dB asociado a cierta maquinaria de construcción.

2 METODOLOGÍA

2.1 Descriptor utilizado por el D.S. N° 38/11 MMA [1]

En el Capítulo III “Definiciones” se establecen los siguientes términos:

Nivel de Presión Sonora (NPS ó L_p): Se expresa en decibeles [dB] y se define por la siguiente relación matemática:

$$NPS = 20 \cdot \log_{10} \frac{P_1}{P} \quad (1)$$

Donde:

P_1 : Valor efectivo de la presión medida

P : Valor efectivo de la presión sonora de referencia, fijada en 2×10^{-5} [N/m²]

Nivel de Presión Sonora Continuo Equivalente (NPS_{eq} , ó Leq): Es aquel nivel de presión sonora constante, expresado en decibeles A, que en el mismo intervalo de tiempo, contiene la misma energía total (o dosis) que el ruido medido.

Nivel de Presión Sonora Corregido (NPC): Es aquel nivel de presión sonora continuo equivalente, que resulte de aplicar el procedimiento de medición y las correcciones definidas en el D.S. N° 38/2011 del MMA [1].

Nivel de Presión Sonora Máximo ($NPS_{máx}$): Es el NPS más alto registrado durante el periodo de medición, con respuesta lenta.

Respuesta Lenta: Es la respuesta temporal del instrumento de medición que evalúa la energía media en un intervalo de 1 segundo. Cuando el instrumento mide el nivel de presión sonora con respuesta lenta, dicho nivel se denomina NPS Lento. Si además se emplea el filtro de ponderación A, el nivel obtenido se expresa en [dB(A)] Lento.

Además el Artículo 18°: “La evaluación y obtención de niveles de presión sonora corregido (NPC), se realizará según el siguiente procedimiento:

- a) Para cada medición realizada, se elegirá el mayor valor entre el NPS_{eq} y el $NPS_{máx}$ disminuido en 5 [dB (A)], y se calculará el promedio aritmético de los valores obtenidos.
- b) El promedio aritmético señalado en la letra a) precedente se expresará en números enteros, aproximando los decimales al número entero inferior o superior más cercano, de manera que si el decimal es menor a 5, se aproxima al entero inferior, y si el decimal es mayor o igual a 5, se aproxima al entero superior”

2.2 Metodología de medición

Se realizaron mediciones a distintas maquinarias y/o procesos presentes en faenas de construcción entre los meses de marzo de 2014 a agosto de 2014 (en un periodo de 6 meses), obteniéndose más de 300 registros, siendo las actividades más recurrentes las mostradas a continuación:

- Hormigonado con camión mixer, bomba de hormigón y compresor;
- Movimiento de marina y materiales con cargador frontal, excavadora y retroexcavadora;
- Corte de fierro con esmeril angular;
- Movimiento y descarga de materiales con grúa pluma y grúa pórtico; y
- Generadores eléctricos.

Para la toma de muestras se tuvieron las siguientes consideraciones:

- Las mediciones se realizaron en condiciones favorables, es decir, sin la influencia de otras fuentes de ruido, tanto de los procesos de construcción como del entorno (por

ejemplo, tránsito vehicular), por lo que se obtuvo la contribución exclusiva de cada maquinaria.

- Previa a la toma de datos, se realizó una medición corta tipo *screening* alrededor de la fuente a evaluar, con la finalidad de registrar y representar el sector o proceso de mayor emisión.
- Se evitó la presencia de elementos apantalladores entre la fuente sonora y la medición.
- La distancia considerada fue la mayor posible, teniendo presente que la maquinaria no pierda las características de fuente puntual. Dichas distancias variaron entre los 4 y 35 [m], dependiendo de la actividad a evaluar.
- Los datos obtenidos corresponden a la integración registrada durante 1 a 5 minutos, o hasta que la lectura fuese estable, de forma de obtener la contribución el ciclo completo de las fuentes de ruido involucradas en los procesos monitoreados.
- El instrumento de medición se ubicó a 1.5 [m] sobre el nivel del piso y en lo posible a 3.5 [m] o más de las paredes, construcciones u otra estructura reflectante distinta al piso.

Las mediciones fueron realizadas por profesionales competentes, debidamente inducidos con títulos universitarios afines a los trabajos realizados, y experiencia sustancial en el rubro.

Las incertezas más relevantes involucradas en el proceso provienen del uso de los sonómetros con los cuales se obtienen los resultados. La incerteza en este ítem proviene tanto del sonómetro mismo como del calibrador utilizado antes y después de cada medición.

Los calibradores acústicos (ver IEC 60942: 2003 [2]) y los sonómetros (ver IEC 61672-3: 2013 [3]) están divididos respectivamente en clases y tipos, de acuerdo con su precisión metrológica. Los dispositivos de Tipo 0 son los que tienen los requisitos de precisión más estrictos, y consecuentemente, éstos son los más precisos. Los dispositivos de Tipo 1, 2 y 3 permiten un rango mayor de tolerancia. En la tabla se detallan los distintos valores de tolerancia permitidos para cada clase de instrumental.

Tabla 1: *Valores de tolerancia para los diferentes tipos de sonómetros y calibradores acústicos.*

Tipo (Clase)	0	1	2
Sonómetro dB	-	0.7	1.0
Calibrador acústico dB	0.1	0.25	0.4

Los sonómetros empleados durante la campaña de medición informada en este estudio, se encuentran certificados como Clase 1 y 2, mientras que los calibradores acústicos están catalogados como Tipo 1 y Tipo 2. El detalle del instrumental se muestra a continuación.

Tabla 2: *Sonómetros utilizados en las mediciones.*

Clase	Marca	Modelo	Nº de Serie
1	Cirrus Research plc	CR: 171B	G056481

		CR: 1710	G061620
	Svantek	958A	34561
	Rion	NL-52	131626
	Cirrus Research plc	CR: 172A	G066051
2		NL-42	145389
	Rion	NL-22	241376
		NL-22	1110121

Tabla 3: *Calibradores utilizados en las mediciones.*

Clase	Marca	Modelo	Nº de Serie
			57136
	Cirrus Research plc	CR: 515	60609
1			34246510
	Rion	NC-74	34536104
			34235945
	Cirrus Research plc	CR: 514	63873
2	Rion	NC-73	11127962

Con respecto a la trazabilidad definida en la ISO 8402 [4] como: *La trazabilidad o rastreabilidad es la "aptitud para rastrear la historia, la aplicación o la localización de una entidad mediante indicaciones registradas"*, ésta se controló mediante el instructivo *Control de Equipos de Medición de Control Acústico* [5], el cual tiene tres (3) etapas:

- **Mantenimiento y calibración:** Cada dos años se envía a laboratorio de calibración de fábrica u otro acreditado metrológicamente;
- **Seguimiento:** El estado de calibración de los equipos durante el periodo estipulado de mantenimiento y calibración descrito anteriormente, se controla mediante un registro de cada uno de los equipos de medición en donde se registran los niveles que entrega éste al ingresarle una señal de 94.0 dB (calibrador), antes y después de cada salida a terreno, con el fin de determinar que éstos permanecen dentro de los rangos estipulados por la normativa IEC61672-3:2013 [3]) y
- **Verificación:** Por exigencias de la empresa, todo operador verificó la calibración de los equipos de medición antes de realizar una medición in-situ.

A continuación se muestran algunas fotografías de las mediciones efectuadas.



Figura 1: Fotografías de alguna de las fuentes de ruido consideradas.

2.3 Maquinaria consideradas

Las maquinarias consideradas en el estudio son las siguientes: Bomba de hormigón, Camión mixer, Cargador frontal, Compresor, Esmeril angular, Excavadora, Grúa pluma, Grúa pórtico - Descarga marina, Grupo electrógeno, Retroexcavadora y Ventilador. Todas las maquinarias consideradas cuentan al menos con seis (6) observaciones cada una.

2.4 Proceso de datos [$NPS_{eq} - (NPS_{m\acute{a}x} - 5 \text{ dB})$]

A las mediciones efectuadas se les agrupó por máquina para luego comparar en cada medición el NPS_{eq} con el $NPS_{m\acute{a}x}$ disminuido en 5 dB, eligiendo el mayor de esos dos valores. Posteriormente, para cada máquina se determinó el número de mediciones en las cuales el NPS_{eq} era mayor y cuando no lo era, como se muestra en el siguiente ejemplo para la grúa pluma:

Tabla 4: Procesos de datos para la fuente Grúa pluma.

N°	Fuente	NPS_{eq} dB(A)	$NPS_{m\acute{a}x}$ dB(A)	$NPS_{m\acute{a}x} - 5$ dB(A)	Mayor entre NPS_{eq} y	Elección	Diferencia dB
----	--------	---------------------	------------------------------	----------------------------------	-----------------------------	----------	------------------

NPS _{máx} -5 dB(A)							
1	Grúa pluma	62.2	69.1	64.1	64.1	NPS _{máx}	-1.9
2	Grúa pluma	75.6	84.1	79.1	79.1	NPS _{máx}	-3.5
3	Grúa pluma	80.4	84.5	79.5	80.4	NPS _{eq}	0.9
4	Grúa pluma	77.6	78.7	73.7	77.6	NPS _{eq}	3.9
5	Grúa pluma	79.8	86.8	81.8	81.8	NPS _{máx}	-2
6	Grúa pluma	64.9	74.7	69.7	69.7	NPS _{máx}	-4.8
7	Grúa pluma	74.2	84.5	79.5	79.5	NPS _{máx}	-5.3
8	Grúa pluma	78	82.3	77.3	78	NPS _{eq}	0.7
9	Grúa pluma	71	78.8	73.8	73.8	NPS _{máx}	-2.8
10	Grúa pluma	81.6	83.9	78.9	81.6	NPS _{eq}	2.7
11	Grúa pluma	68.7	69.2	64.2	68.7	NPS _{eq}	4.5
12	Grúa pluma	76.8	85.7	80.7	80.7	NPS _{máx}	-3.9
13	Grúa pluma	67.9	78.1	73.1	73.1	NPS _{máx}	-5.2
14	Grúa pluma	66.4	74.4	69.4	69.4	NPS _{máx}	-3
15	Grúa pluma	85.5	91.3	86.3	86.3	NPS _{máx}	-0.8

En la Tabla 4 se obtiene que de las 15 observaciones, 5 corresponden a las que el NPS_{eq} es mayor que el NPS_{máx} - 5, y en las 10 restantes el NPS_{máx} - 5 es mayor que el NPS_{eq}. De este modo, se obtiene que en el 67% de las muestras, el NPS_{máx} disminuido en 5 dB es mayor que el NPS_{eq}.

3 RESULTADOS

En la Tabla 5 se presenta el total de muestras por tipo de máquina o proceso considerado, y su respectiva cantidad de ocurrencia para cada uno de los casos definidos mientras que en la Figura 2 se detalla el promedio de las diferencias entre el NPS_{eq} y el NPS_{máx} reducido en 5 dB, donde las diferencias positivas corresponden a la situación donde el NPS_{eq} era mayor que el NPS_{máx} reducido en 5 dB y las diferencias negativas a lo contrario.

Tabla 5: Resumen de resultados

Máquina	Total de muestras	Ocurrencia NPS _{eq} mayor valor	Ocurrencia NPS _{máx} -5 mayor valor	Diferencia dB
Bomba de hormigón	8	7	1	4
Camión mixer	16	10	6	2.6
Cargador frontal	48	6	42	-4.9
Compresor	8	6	2	2.9
Esmeril angular	21	8	13	-2.6
Excavadora	51	14	37	-3.7
Grúa pluma	15	5	10	-3.3
Grúa pórtico - Descarga marina	6	0	6	-7.7

Grupo electrógeno	17	14	3	3.4
Retroexcavadora	11	4	7	-4.8
Ventilador	7	5	2	2.4

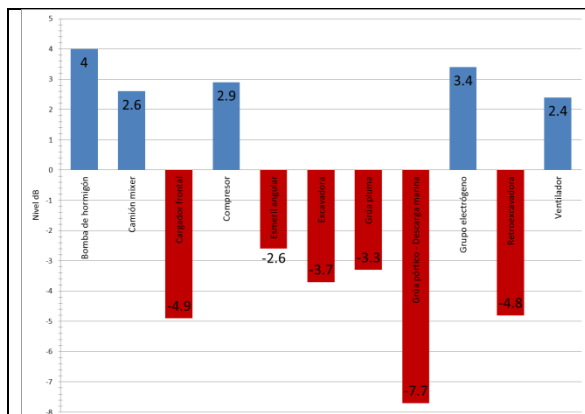


Figura 2: Diferencias entre NPS_{eq} y $NPS_{máx-5}$.

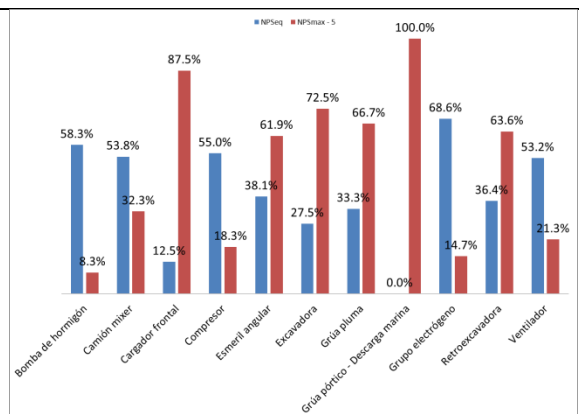


Figura 3: Comparación de porcentaje de ocurrencia de mayor NPS_{eq} y $NPS_{máx-5}$.

En la Figura 3 se muestran los porcentajes de ocurrencia para cada una de las maquinarias. En azul se muestra el porcentaje asociado a la cantidad de veces que ocurrió el caso cuando fue predominante el NPS_{eq} y en rojo cuando lo fue el $NPS_{máx} - 5$ dB.

A continuación se muestran las maquinarias que son más frecuentemente representadas por el NPS_{eq} y las que son mejor representadas por el $NPS_{máx} - 5$, Tabla 6 y Tabla 7 respectivamente.

Tabla 6: Maquinaria donde el NPS_{eq} es mayor que $NPS_{máx} - 5$.

Máquina	Porcentaje de ocurrencia de mayor NPS_{eq}	Porcentaje de ocurrencia de mayor $NPS_{máx} - 5$
Bomba de hormigón	87.5%	12.5%
Camión mixer	62.5%	37.5%
Compresor	75.0%	25.0%
Grupo electrógeno	82.4%	17.6%
Ventilador	71.4%	28.6%

Tabla 7: Maquinaria donde el $NPS_{máx} - 5$ es mayor que NPS_{eq} .

Máquina	Porcentaje de ocurrencia de mayor NPS_{eq}	Porcentaje de ocurrencia de mayor $NPS_{máx} - 5$
Cargador frontal	12.5%	87.5%
Esmeril angular	38.1%	61.9%
Excavadora	27.5%	72.5%
Grúa pluma	33.3%	66.7%

Grúa pórtico	-	0.0%	100.0%
Descarga marina			
Retroexcavadora		36.4%	63.6%

4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Se observa que, en general las máquinas con un comportamiento más estacionario (bomba de hormigón, camión mixer descargando, compresor, grupo electrógeno y ventilador) tienen a ser mejor representados por el NPS_{eq} . Mientras que las maquinaria con un comportamiento más móvil (cargador frontal, excavadora, grúa pluma) o intermitente (esmeril angular, descarga de marina) tienden a ser mejor representados por el $NPS_{m\acute{a}x} - 5$.

Según los análisis efectuados, cuando se esté trabajando en el marco del NPC definido en el Decreto Supremo N° 38/2011 del MMA [1], y se requiera efectuar predicciones, algunas maquinarias serían mejor representadas por su nivel máximo disminuido en cinco (5) dB que por el NPS_{eq} . Es por esto que cuando se utilicen bases de datos donde los niveles provengan de mediciones de NPS_{eq} , se podrían corregir con los valores, según lo detallado en la Tabla 8:

Tabla 8: Corrección para obtener el $NPS_{m\acute{a}x} - 5$ a partir del NPS_{eq} .

Máquina	Adición al NPS_{eq} para obtener el $NPS_{m\acute{a}x} - 5$ dB
Cargador frontal	4.9
Esmeril angular	2.6
Excavadora	3.7
Grúa pluma	3.3
Grúa pórtico - Descarga marina	7.7
Retroexcavadora	4.8

Para validar la corrección propuesta se muestra a continuación en la Tabla 8 una comparación entre $NPS_{m\acute{a}x} - 5$ predichos a partir de los NPS_{eq} y los obtenidos directamente de las mediciones se observa que las diferencias son de entre -1.5 dB y 3.0 dB y el promedio de las diferencias es de 1.4 dB. Los datos utilizados fueron obtenidos al azar de un universo diferente de datos obtenidos entre el 15 y el 16 de septiembre de 2014.

Tabla 9: Validación del método para obtener $NPS_{m\acute{a}x} - 5$ a partir del NPS_{eq} .

Máquina	$NPS_{m\acute{a}x} - 5$ dB medido dB(A)	NPS_{eq} + Corrección dB(A)	Diferencia dB
Cargador frontal	89.7	(83.3+4.9) 88.2	-1.5

Esmeril angular	84.9	(84.7+2.6) 87.3	2.4
Excavadora	85.4	(83.1+3.7) 86.8	1.4
Grúa pluma	73.2	(71.3+3.3) 74.4	1.2
Grúa pórtico – descarga marina	77.9	(72.3+7.7) 80.0	2.1
Retroexcavadora	77.5	(75.7+4.8) 80.5	3

Por otro lado, cabe mencionar que la bomba de hormigón, camión mixer descargando, compresor, grupo electrógeno y ventilador, están representadas adecuadamente por el NPS_{eq} en el ámbito del Decreto Supremo N° 38/2011 del Ministerio de Medio Ambiente [1] según la información disponible.

5 CONCLUSIONES

En el marco de la aplicación del Decreto Supremo N° 38/2011 MMA [1], las máquinas con un comportamiento estacionario son adecuadamente representadas por el NPS_{eq}. Las maquinarias con un comportamiento móvil o intermitente tienden a ser mejor representados por el NPS_{máx} – 5, descriptor el cual es factible estimar a partir del NPS_{eq} de bases de datos aplicando correcciones. Se obtuvieron correcciones para Cargador frontal, esmeril angular, excavadora, grúa pluma, descarga de marina con grúa pórtico y retroexcavadora. Sería de interés seguir documentando la diferencia entre los descriptores ya sea para afinar las correcciones o para incluir nuevas maquinarias.

6 AGRADECIMIENTOS

A los colegas que efectuaron las mediciones: Antonio Chanduví (Licenciado en Artes, con mención en Sonido, U de Chile), Alexis Hott (Ingeniero Civil en Sonido y Acústica, UTC), Carlos Muñoz (Ingeniero Civil en Sonido y Acústico, UTC), Rodrigo Pérez (Ingeniero Civil Acústico, UACH), Karin Toledo (Ingeniero Civil en Sonido y Acústica, UTC), Cristian Traslaviña (Ingeniero en Ejecución en Sonido, AIEP), Betsabé Vásquez (Ingeniero Civil en Sonido y Acústica, UTC) e Ignacio Veloso (Ingeniero Civil en Sonido y Acústica, UTC) y a la asesoría permanente de Alejandro Osses e Ismael Gómez.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio del Medio Ambiente. Decreto Supremo N°38 - Norma de Emisión de Ruidos Generados por Fuentes que Indica. Publicado en el Diario Oficial el 12 de junio de 2012. 2011.
- [2] SEA. <http://www.sea.gob.cl/>. [En línea]
- [3] IEC. 60942 ED. 3.0 B, Electroacoustics - Sound calibrators. 2003.
- [4] IEC 61672-3 Electroacoustics - Sound level meters. 2013.
- [5] ISO. 8402:Quality management and quality assurance -- Vocabulary. 1994.
- [6] Control Acústico - Coordinador SGI. Instructivo Control de equipos de medición. 2014.
- [7] MMA. <http://www.mma.gob.cl/1304/w3-article-52382.html>. [En línea]