

1 Introducción

La acústica ambiental es una de las disciplinas de la acústica que tiene mayor relevancia en la actualidad. El ruido ambiental es la principal fuente de contaminación en las ciudades modernas.

La ciudad de Puerto Montt tiene una gran actividad portuaria y de transporte. Por su ubicación estratégica, la ciudad constituye el punto de partida para el desplazamiento hacia los lugares de atracción turística del sur más austral. Desde ella inician viaje barcos llevando pasajeros y carga, así como embarcaciones que unen al continente con Achao, Ancud, Castro y otros puntos de la Isla Grande de Chiloé. Es también el centro de agricultura y ganadería, así como de la pesca que llega a través del pequeño puerto llamado Angelmó. La ciudad de Puerto Montt constituye además un centro de servicios, albergando importantes centros de salud, entidades financieras, servicios públicos, comercio y educación media y superior. Todo esto genera una gran expansión urbana de la ciudad, y un mayor aumento de ruido ambiental, debido a la gran generación de actividades potencialmente ruidosas.

Este estudio fue realizado gracias a un convenio entre la Comisión Nacional del Medio Ambiente CONAMA Región de Los Lagos y la Ilustre Municipalidad de Puerto Montt. Además contó con el apoyo del Instituto de Acústica de la Universidad Austral de Chile.

2 Desarrollo

2.1 Metodología

Se utilizó como procedimiento para determinar los puntos de medición un método mixto de retícula y viales. La metodología de retícula empleada para el trabajo realizado fue mixta. Sobre el plano de ciudad se utilizó una retícula de $200 \times 200 \text{ m}^2$ y en algunos sectores se expandió con cuadrículas de $400 \times 400 \text{ m}^2$, en donde los nodos de la retícula se orientaron hacia las vías más próximas como muestra la Figura 1. También se utilizó la metodología de viales, así se estudiaron las vías más importantes de la ciudad que quedaron fuera de la cuadrícula. La técnica de retícula es la forma más directa de obtener los datos para dar los adecuados contornos de los mapas [1].

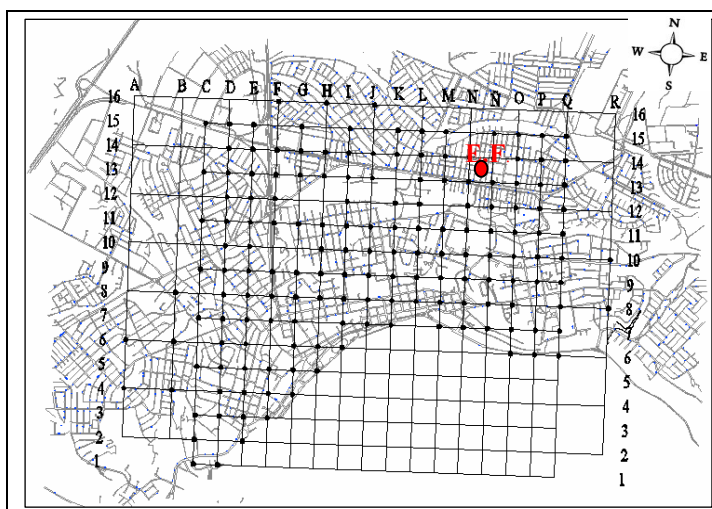


Figura 1. Retícula utilizada para este estudio.

2.1.1 Estaciones Móviles

La selección del tamaño de la rejilla influye en forma importante en el número de puntos a medir, y por ende, en el costo del trabajo. Para el presente estudio, se ha utilizado una densa cuadrícula, generando 162 estaciones móviles, acorde con el área urbana y los fines de la investigación.

En la ciudad de Puerto Montt se tomaron muestras durante todos los días de la semana con el fin de caracterizar la semana completa. Cabe precisar que las mediciones realizadas en temporada turística alta (enero – febrero), corresponden los días lunes, martes, miércoles, jueves, viernes, periodo diurno. Las mediciones correspondientes a temporada turística baja se midieron durante todos los días de semana en periodo diurno y nocturno. De esta forma se logra involucrar la influencia del ruido ambiental generado en un periodo considerable del año (verano), debido a las características turísticas de la ciudad y obtener una caracterización acústica anual promedio representativa de la zona evaluada. También se registraron las características del tráfico vehicular (cantidad, tipo), fuentes de ruido presentes. Se incluyó una fotografía y las coordenadas del lugar, dirección, descripción urbana, características de la vía, etc.

Cada día de medida se dividió en dos franjas horarias principales: diurna (07:00 a 23:00), y nocturna (23:00 a 07:00). Durante el periodo diurno se midieron 10 minutos en cada estación móvil por periodo horario, mientras que durante el periodo nocturno se midió 20 minutos en cada estación móvil por periodo horario. El tiempo total invertido en medidas de campo de fue de 563,3 horas aproximadamente (casi 24 días completos).

2.1.2 Estación Fija

Para el estudio de los niveles sonoros durante las 24 horas, se contó con una estación fija de monitoreo continuo durante una semana en la temporada turística baja (punto rojo en la Figura 1), ubicada en calle Achao a 30 m frente de Avda. Presidente Ibáñez. Esta estación fija almacenó el Nivel de Presión Sonora (NPS) RMS cada un segundo.

2.2 Estudio método de viales

El estudio realizado sobre las principales vías de la ciudad, se localizó fuera de la zona evaluada con la metodología cuadrícula. Para esta parte del estudio se fijaron 38 puntos de medición y se tomaron muestras de 10 minutos en cada punto. Para esta parte del estudio sólo se midió en periodo diurno, ya que se asume que la relación entre el tráfico vehicular y el ruido generado por éste no depende de la hora de medición. Los otros factores (temperatura, humedad, etc.), también, se han estimado poco relevantes para estos efectos. En cada punto se identificó la cantidad y tipo de tráfico, como también se registraron las características de la vía y eventos casuales presentes en el momento de realizar las mediciones. Las vías evaluadas fueron:

Avenida Salvador Allende, Panamericana norte, Ruta 5 sur, Avenida aeropuerto, Cardonal, Avenida Pacheco Altamirano, Los notros, Avenida Presidente Ibáñez poniente, Puerto Chacabuco, Avenida Vicuña Makena, Maratón, Río Puelche, Egaña, Volcán Osorno, Avenida Cuarta terraza, Camino Alerce, Volcán Puntigudo, Avenida Ramón Munita, Avenida Presidente Ibáñez oriente.

2.3 Elaboración del mapa de ruido de la ciudad de Puerto Montt

El mapa de ruido es una herramienta importante para conocer el estado del ambiente sonoro de un entorno. Un mapa de ruido entrega información en forma visual del comportamiento acústico de un área geográfica (barrio, pueblo, ciudad, región, país) y sus

causas, en un momento determinado. Lo cierto es que dependiendo de la metodología a emplear, la información que se extrae de este tipo de estudios puede tener una gran utilidad y proyección. Habitualmente los niveles de ruido son representados por medio de colores a modo de las curvas topográficas en un mapa [1].

La norma ISO 1996/2 [2] establece los criterios para la realización de medidas y confección de mapas de ruido. Según esta norma, el mapa de ruido ha de representar niveles de presión sonora en tramos de 5 dB. Cada uno de esos intervalos de nivel sonoro se representa en el mapa mediante un color.

2.3.1 Selección de los periodos de medida

Cada día de medida se dividió en 2 franjas horarias principales: diurna (07:00 a 23:00 horas), y nocturna (23:00 a 07:00 horas), con el criterio de que representen la actividad urbana de la ciudad. Se subdividió igualmente el horario diurno en 4 franjas horarias y el horario nocturno se subdividió a su vez en 2 franjas horarias, a continuación se muestra en la Tabla 1, cada periodo con su respectivo horario.

Tabla 1. Horarios de los periodos del día.

Periodo	Horario
I	07:00 - 11:00 hrs.
II	11:00 - 15:00 hrs.
III	15:00 - 19:00 hrs.
IV	19:00 - 23:00 hrs.
V	23:00 - 03:00 hrs.
VI	03:00 - 07:00 hrs.

2.3.2 Condiciones de medición y adquisición de los datos.

Todas las mediciones se realizaron de acuerdo a la norma ISO 1996/2 [2]. Para ello se ubico el micrófono a una altura entre 1,2 a 1,5 m sobre la acera, una distancia aproximada de 1,5 a 2 m de la calzada manteniendo una distancia mínima de 3,5 m de una superficie reflectante distinta del piso.

Antes de realizar las medidas el sonómetro fue revisado y calibrado. El micrófono se protegió en todas las mediciones con una pantalla antiviento para minimizar el efecto de los vientos suaves o brisas. No se realizaron mediciones en condiciones climáticas adversas como lluvia y viento.

2.3.3 Instrumental utilizado

El instrumental utilizado fue acorde a lo exigido en ISO 1996/2 [2], para la adquisición de datos de ruido ambiental. Los sonómetros utilizados durante las dos campañas de medición eran tipo 2 (Rion, modelo NL20) y en la estación fija se utilizo un sonómetro tipo1 (Svantek, modelo SVAN949).

2.4 Mapas de Ruido

Para la elaboración de los mapas acústicos se utilizaron métodos de interpolación espacial, los cuales permiten crear representaciones continuas de fenómenos registrados

discretamente. Para el cálculo de las superficies se utilizó además de los datos registrados empíricamente, un conjunto reducido de "puntos de medición virtuales", a los que se les asignó un valor de nivel de presión sonora en base a la similitud de sus fuentes de ruido con otros puntos registrados empíricamente. Este proceso sólo se aplicó para fines de una mejor representación gráfica.

De los métodos analizados para realizar el proceso de interpolación: el de triangulación o de promedios aritméticos, el de inverso de cuadrado de las distancias, el de Kriging y el de Spline, se escogió éste último por poseer un método apropiado para cambios graduales de valor, representa elevaciones y es utilizado en concentraciones de contaminantes, en este caso el ruido ambiental. También se optó por este método de interpolación, ya que entrega una representación visual más ajustada a un análisis de la situación acústica de la zona evaluada, en comparación con las otras interpolaciones disponibles. El método, implementado mediante la aplicación de software de sistema de información Geográfica SIG, ESRI Arcview 3.2 crea, a partir de una red de puntos con un valor de "elevación" o Z (el nivel de presión sonora en este caso), una retícula de celdas de tamaño variable con un valor de elevación, lo cual permite dar continuidad espacial a los datos.

A partir de esta retícula de celdas con valores de nivel de presión sonora se construyó además una capa vectorial con nivel de presión sonora clasificado de acuerdo a la escala cromática de intervalos definida por la norma ISO respectiva.

El área de estudio cubre una superficie de 9.021 Km. de zona urbana de la comuna de Puerto Montt, y está definida al Norte por la tercera terraza, hasta las poblaciones: Manuel Rodríguez, Estero Lobos y Antonio Varas norte; por el Poniente, las poblaciones: Villa Olímpica, San Luís, Eleuterio Ramírez, Cumbre Alta y Villa Nevada; al Oriente, las poblaciones: Colina, Lintz y Miramar y al Sur con el borde costero, correspondiente al seno de Reloncavi. Cabe señalar que el área de estudio, incluye el área de interés declarada por la Ilustre Municipalidad de Puerto Montt para fines de este estudio.

A continuación se incluyen los mapas promedio anuales para los descriptores Nivel Día-Noche (L_{DN}) en la Figura 2, Nivel Día-Tarde-Noche (L_{DEN}) en la Figura 3 y Nivel Día (L_D) con caracterización de principales vías, en la Figura 4.

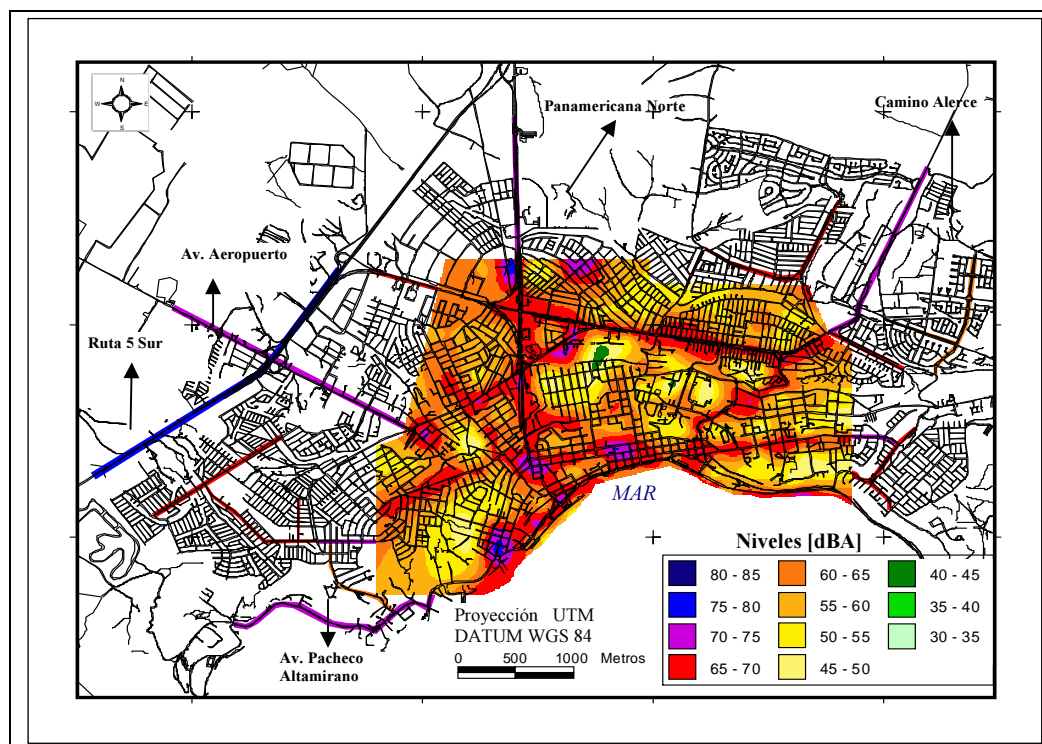


Figura 4. Caracterización Acústica de la Ciudad de Puerto Montt: Nivel Día Anual L_D , metodología de retícula y viales.

2.5 Análisis de datos

2.5.1 Comparación de niveles según criterio OECD, U.E. y OMS

La OECD (Organización para la Cooperación Económica y el Desarrollo) recomienda niveles equivalentes del periodo diurno no sean mayores a 65 dB(A) (Tabla 2), para zonas residenciales existentes y no mayores a 55 dB(A) para zonas residenciales nuevas [3].

De los criterios más utilizados para comparaciones de ruido ambiental en la Unión Europea, aquel que establece 65 dB(A) como límite para el nivel equivalente durante el periodo diurno y 55 dB(A) (Tabla 2), para el periodo nocturno [4].

Tabla 2. Límites de aceptación en zonas residenciales existentes.

Criterio OECD y U. E.	Diurna (7:00-23:00) % Puntos Medidos	Criterio U.E.	Nocturna (23:00-7:00) % Puntos Medidos
$L_D < 65$ dB(A), Aceptable	75.9	$L_N < 55$ dB(A), Aceptable	66.7
$L_D > 65$ dB(A), Inaceptable	24.1	$L_N > 55$ dB(A), Inaceptable	33.7

Los niveles recomendados por la OMS (Organización Mundial de la Salud), nivel día y nivel noche, son más exigentes que la OECD (Tabla 3), ya que son criterios definidos como valores objetivos.

Tabla 3. Límites de aceptación en zonas residenciales existentes.

Criterio OMS	Diurna (7:00-23:00) % Puntos Medidos	Criterio OMS	Nocturna (23:00-7:00) % Puntos Medidos
$L_D < 50$ dB(A) Sin efecto	6.8	$L_N < 45$ dB(A) Sin efecto	14.4
$L_D > 50$ dB(A) Molestia Moderada	17.9	$L_N > 45$ dB(A) Perturbación del sueño	84.6
$L_D > 55$ dB(A) Molestia seria	75.3		

2.5.2 Distribución porcentual de los descriptores acústicos anuales

En la Tabla 4 se muestra porcentualmente la distribución de los diferentes descriptores acústicos, en tramos de 5 dB(A) establecidos por la norma ISO 1996-2: Nivel equivalente día (L_D), nivel equivalente noche (L_N), nivel equivalente día-noche (L_{DN}) y nivel equivalente día-tarde-noche (L_{DEN}).

Tabla 4. Variación en % de puntos de los descriptores acústicos anuales.

Intervalos dB(A)	Nivel Día L_D (%)	Nivel Noche L_N (%)	Nivel Día-Noche L_{DN} (%)	Nivel Día-Tarde-Noche L_{DEN} (%)
35-40	0.0	0.6	0.0	0.0
40-45	1.2	16.0	0.0	0.0
45-50	5.6	24.7	3.7	1.2
50-55	19.1	25.3	17.9	16.7
55-60	27.2	14.8	27.8	28.4
60-65	22.8	17.3	19.1	19.8
65-70	17.9	1.2	22.2	19.8
70-75	6.2	0.0	8.6	13.2
75-80	0,0	0.0	0.6	1.2

3 Conclusiones

Se ha logrado medir, representar y evaluar los niveles sonoros obtenidos en distintos puntos de la ciudad de Puerto Montt.

Se obtuvo una apropiada representación gráfica para los distintos descriptores acústicos L_D , L_{DN} , L_{DEN} , mapas de ruidos, los cuales caracterizan acústicamente diferentes periodos la ciudad de Puerto Montt, cubriendo una superficie total de 9.021 Km.²

En la zona evaluada de la ciudad de Puerto Montt, se puede identificar como principal fuente de ruido, la generada por el tráfico rodado, ya que los mayores niveles registrados se asocian a las principales vías de la ciudad, tales como Crucero, avenida Presidente Ibáñez (oriente y poniente), avenida Salvador Allende, avenida diego portales, Urmeneta. Benavente, Ejército, Egaña, Av. Aeropuerto, Ruta 5 sur, Cardonal, Av. Pacheco Altamirano, Av. Vicuña Malena, Volcán Osorno, Los Notros, Río Puelche, Volcán Puntagudo, Camino Alerce, Av. Pacheco Altamirano, Panamericana Norte, Av. Monseñor R. Munita, entrada de recinto Portuario, Terminal de buses y sector céntrico.

Según criterios de OECD y UE, el 24.1% de los puntos con niveles días anuales ($L_D > 65$ dB(A)) y según UE un 33.3% de niveles noches anuales ($L_N > 55$ dB(A)), se consideran como inaceptables. Los valores objetivos de la OMS, son más estrictos, y arrojaron que un 75.3% de los puntos, en nivel día, muestran niveles que se califican como molestia seria y un 84.6% de nivel noche muestran valores que se definen como perturbadores de sueño.

La variabilidad de niveles captada por la estación fija, muestras niveles promedios en periodo diurno entorno a los 65 dB(A) y en periodo nocturno entorno a los 50 dB(A), esto en días de semana. Para el fin de semana los niveles, en periodo diurno, bajan especialmente el día domingo, el cual, presenta niveles entorno a los 60 dB(A), y para la madrugada del domingo los niveles suben entorno a los 55 dB(A), debido, a la actividad de recreación nocturna que se desarrolla los fines de semana.

Según la metodología aplicada no se aprecia una diferencia significativa entre las dos campañas de medición, correspondiente a días de semana periodo diurno, debido a la gran y constante actividad durante el todo el año en la ciudad.

Se pudo observar que el rápido desarrollo y crecimiento de la ciudad de Puerto Montt, a ofrecido poca oportunidad de planificación urbana incorporando la variable de acústica ambiental. Este aspecto es un elemento relevante en la ubicación de lugares especialmente sensible, como establecimientos educacionales, lugares habitacionales y de trabajo que están expuestos a altos niveles de ruido, principalmente por su cercanía a vías con alto flujo vehicular.

4 Referencias

- [1] Suárez, Enrique (2002). "Metodologías Simplificadas para estudios en Acústica Ambiental: Aplicación en la Isla de Menorca". Tesis Doctoral Universidad Politécnica de Madrid, pag_111.
- [2] International Organization for Standardization ISO. ISO 1996 2 Acoustics – Description and Measurement of Environmental Noise.
- [3] Organization for Economic Cooperation and Development OECD. Fighting Noise in the 1990s. París, Francia. (1991).
- [4] Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, Diario Oficial de las Comunidades Europeas, L189/12-25, 18.7.2002.