

---

## Environmental Acoustics & Community Noise: FIA2016-86

# Measurements, modeling and analysis of industrial noise in the city of coronel (Chile) – Advantages of using acoustic camera for source location

José Luis Barros <sup>(a)</sup>, Juan Pablo Alvarez <sup>(b)</sup>

<sup>(a)</sup> Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, jbarros@uach.cl

<sup>(b)</sup> Acústica Austral EIRL, Puerto Montt, Chile, jpalvarez@acusticaustral.cl

### Abstract

The current work discusses the assessment of industrial noise sources in the city of Coronel, Chile. Such evaluation is part of the study 'Assessment of Noise Levels in Coronel' developed by the Chilean Ministry of Environment. The research presented here discussed the methodology used for the acoustic modeling of industrial noise and advantages of measuring with an acoustic-camera (beamforming technique) in order to locate primary sound sources. Measurements of noise primary sources in the south of the city were carried out using acoustic-camera in order to establish a set of point sources with its corresponding sound power spectrum. Using the generated data, the noise emissions of different industrial plants existing in the area are modeling. The resulting industrial noise maps are shown and the impact of each specific industry on the community is analysed from the point of view of noise pollution.

**Keywords:** Industrial Noise, Acoustic Camera, Noise Mapping

---

---

# Medición, modelamiento y análisis de ruido industrial en la ciudad de Coronel (Chile) – Ventajas del uso de una cámara acústica para localización de fuentes

## 1 Introducción

El ruido ambiental se reconoce internacionalmente como la contaminación más común, los mayores problemas se generan en zonas donde existe una incompatibilidad de los usos de suelo o en zonas donde conviven actividades de distinta característica, como una alta presencia de actividad industrial junto a una zona residencial, tal como el caso de la ciudad de Coronel, Chile.

Teniendo presente el escenario ambiental en el que se encuentra inserta la comuna de Coronel, el Ministerio del Medio Ambiente (MMA) contrató la realización del estudio “Evaluación de los Niveles de Ruido en Coronel” centrado en los aspectos concernientes a la calidad acústica de Coronel, sus principales emisores y su caracterización. El Ministerio ha desarrollado desde hace algunos años una línea de trabajo que apunta a obtener mapas de ruido de las capitales regionales de Chile mediante software de modelamiento y considerando al tránsito vehicular como su principal fuente de ruido [1][2][3][4], pero en esta ocasión se incorpora por primera vez la evaluación y modelamiento del ruido industrial.

Para generar los mapas de ruido industrial se estableció la necesidad de utilizar instrumentación avanzada (cámara acústica) con el fin de determinar los niveles de potencia adecuados a las fuentes virtuales que representarían cada planta o actividad industrial existente en la comuna. De esta manera se podría generar un mapa que permitiera tener mayor claridad en el aporte de estas fuentes en los niveles de ruido existentes en la comuna. Si bien en el proyecto se estudiaron todas las fuentes de ruido y se elaboraron los correspondientes mapas, el presente artículo se concentra en la metodología aplicada para generar mapas de ruido industrial utilizando una cámara acústica para localizar fuentes predominantes en plantas industriales.

La determinación de potencia acústica para complejos industriales multifuentes presenta habitualmente diversas complicaciones, dependiendo por ejemplo del emplazamiento de la industria, de la existencia o no de otras fuentes relevantes, de la posibilidad de medir a distancias adecuadas, etc. Dada las dimensiones del problema no es posible aplicar métodos de medición habituales para fuentes individuales, como por ejemplo los incorporados en las normas ISO 3744 [5] e ISO 3746 [6]. Una opción que se plantea habitualmente es la utilización del método establecido por la norma ISO 8297 [7], sin embargo tiene la limitante de que las dimensiones horizontales de la planta sean considerablemente mayores a las dimensiones verticales, radiación aproximadamente uniforme en el plano horizontal y efecto despreciable de otras fuentes ajenas a la planta a analizar. Es razonable entonces considerar la utilización de una cámara acústica de nivel avanzado para el monitoreo y localización de fuentes de ruido de plantas industriales.

## 2 Metodología

### 2.1 Instrumental

Para establecer niveles de potencia acústica representativos de las diferentes fuentes involucradas en la emisión sonora de plantas industriales se utilizó una cámara acústica. Este instrumental resulta imprescindible a la hora de realizar la localización de fuentes predominantes. Considerando las diferentes opciones de cámaras acústicas existentes en el mercado, se optó por la utilización de una cámara y arreglos de micrófonos de la empresa alemana GFal Tech. Algunas especificaciones importantes del arreglo de micrófonos utilizado se incluyen en la tabla 1.

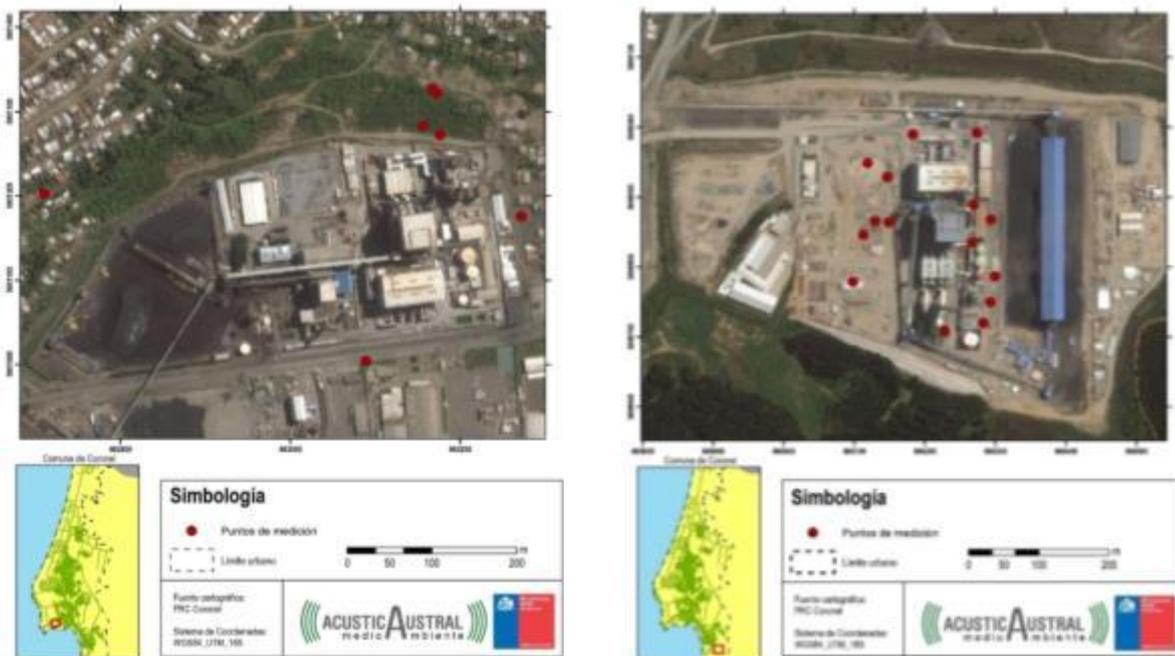
**Tabla 1 Especificaciones del Arreglo de Micrófonos.**

Body	Aluminium array-body diameter: 3,4m
Microphones	Advanced ¼" symmetrically buffered electret pressure receivers (based on Sennheiser microphone capsule 4211)
Number of microphones	48
Frequency response of microphones	20Hz-20kHz ( $\pm$ 3dB)
Dynamic range of microphones	28-130dB (A-weighted)
Recommended measurement distance	4-500m
Recommended mapping frequencies	100Hz-13kHz
Single map dynamic	6-7dB (CBF) using HDR 20-40dB
Backward attenuation	up to 20dB

### 2.2 Procedimiento

El procedimiento utilizado consiste en tomar registros del sonido emitido en varios puntos en torno a una planta industrial, generando diferentes imágenes de distribución sonora, que permiten obtener directamente el espectro característico de las fuentes predominantes y la potencia acústica asociada. Estas fuentes predominantes serán utilizadas como fuentes virtuales puntuales para modelar la emisión sonora de la planta en su totalidad. La técnica basada en cámara acústica se utilizó en los casos más críticos, ya sea por tratarse de plantas de gran tamaño con diversidad de fuentes y grandes alturas, o por fuentes que están claramente identificadas pero que debido a la influencia de fuentes externas (ej: Autopista) resulta muy difícil de caracterizar utilizando solamente un sonómetro. En estos últimos casos se saca provecho del elevado grado de direccionalidad que se puede lograr con una cámara acústica.

Para realizar el modelamiento del ruido y generar el correspondiente mapa de ruido industrial se incorporaron en el software de modelamiento Cadna/A los valores de potencia acústica establecidos a partir de las mediciones en terreno y se utilizó el modelo de propagación establecido en la norma ISO 9613 [8]. En la figura 1 se muestran, a modo de ejemplo, la distribución de puntos de medición con cámara acústica para el caso de dos centrales de generación termoeléctrica.



**Figura 1: Distribución espacial de puntos de medición zona Coronel Sur. Izquierda: Termoelectrica Bocamina; Derecha: Termoelectrica Santa María**

En la campaña de mediciones se obtuvieron más de 100 registros con cámara acústica, los que fueron debidamente analizados con el objetivo de generar datos de calidad para la etapa de modelamiento y servir como información relevante en el análisis de medidas de control. En la figura 2 se muestran fotografías del arreglo de micrófonos utilizado para las mediciones.



Figura 2: Fotografía del arreglo de micrófonos utilizado.

### 3 Resultados

#### 3.1 Espectros de potencia acústica

La figura 3 contiene ejemplos de imágenes generadas a partir de los datos obtenidos en los puntos de medición indicados en la figura 1 para el caso de una central de generación termoeléctrica.



Figura 3: Identificación de fuentes predominantes para determinar potencia acústica asociada (ejemplos de Central Bocamina)

Como se puede apreciar, existen concentraciones de energía que permiten establecer la ubicación de fuentes predominantes que posteriormente se utilizarán para el modelamiento acústico. Además de las fuentes virtuales para representar las plantas termoeléctricas, se establecieron los espectros de potencia para maquinaria utilizada en las astilladoras y en puerto. En la tabla 2 se incluyen los espectros de potencia y la altura estimada de las fuentes utilizadas para representar la emisión de ruido de la planta termoeléctrica Bocamina (identificadas por TB) y la planta termoeléctrica Santa María (identificadas por TSM).

**Tabla 2 Espectros de potencia acústica asociada a las diferentes fuentes para modelamiento de ruido industrial generado por las plantas termoeléctricas.**

Fuente	h aprox. (m)	LWA	Frecuencias Hz (bandas de octava)								
			31	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
TB_1	10	92,5	49,6	62,4	70,4	82,6	86,9	88,1	85,5	79,5	65,4
TB_2	10	96,4	61,7	78,3	79,8	83,7	86,4	94,6	87,2	81,1	64,2
TB_3	8	91,4	58,5	58,5	67,5	81,4	85,2	89,0	79,6	73,1	60,3
TB_4	20	100,1	69,3	78,1	84,9	90,3	91,0	93,8	95,3	92,1	80,4
TB_5	8	96,6	54,6	60,6	73,1	87,5	92,2	92,0	87,1	83,6	72,3
TB_6	7	80,5	48,8	61,8	68,0	78,3	74,8	67,3	58,8	51,2	47,1
TSM_1	8	101,3	55,6	67,0	85,0	92,8	96,6	96,5	92,9	83,9	67,8
TSM_2	6	106,1	71,6	87,3	93,9	101,0	101,0	99,3	95,6	86,1	69,7
TSM_3	1,5	90,4	51,8	66,4	74,5	88,1	85,9	72,4	65,5	57,1	54,3
TSM_4	1,5	95,1	53,4	62,7	71,7	88,6	93,5	83,0	78,1	65,3	62,3
TSM_5	1,5	82,6	51,9	54,8	68,8	71,9	74,6	76,4	78,7	69,7	63,1
TSM_6	10	93,5	49,2	66,6	82,7	83,6	85,0	86,4	89,0	84,7	74,4
TSM_7	5	77,0	42,7	58,8	63,2	61,3	76,0	65,2	64,3	52,6	50,3
TSM_8	3	95,3	51,2	66,4	77,7	82,7	89,9	89,7	89,6	84,4	75,7
TSM_9	0	100,9	64,2	82,0	89,3	92,7	93,2	97,7	91,2	78,4	59,1
TSM_10	2,5	87,0	46,8	63,7	83,6	83,7	70,4	71,6	69,7	62,4	54,4
TSM_11	6	116,4	72,5	78,5	88,8	88,3	87,7	90,0	116,3	95,7	79,3

### 3.2 Mapa de Ruido Industrial

A continuación, se presenta el mapa de ruido producto del funcionamiento de las principales actividades productivas e industriales presentes en el sector sur de la comuna. En el mapa resultante se pueden apreciar con claridad las zonas afectadas por ruido industrial.

A nivel internacional, tanto la OCDE como la Unión Europea (UE), recomienda niveles máximos de ruido ambiental. Ambos organismos plantean una diferenciación para los periodos diurnos y nocturnos. Los niveles exteriores recomendados son 65 dBA para el periodo diurno (Nivel día, Ld) y 55 dBA para el periodo nocturno (Nivel noche, Ln).

Como se puede ver en el mapa de ruido industrial de la figura 4, existen sectores en torno a las industrias en donde se superan los 55 dBA y corresponden a sectores con viviendas, lo cual ha motivado reacciones y reclamos de la comunidad. En la zona sur de Coronel, los mayores niveles de ruido se concentran en el sector de Puchoco, principalmente en el sector de las astilladoras, central termoeléctrica Bocamina y Santa María, y en ambos emplazamientos pertenecientes al Puerto de Coronel. En torno a estas industrias existen sectores en donde según la legislación nacional se deben cumplir límites nocturnos de 45 y 50 dBA en horario nocturno dependiendo de si corresponde a tipo de zona II o III respectivamente. En la tabla 3 se incluye el porcentaje de superficie expuesta a diferentes rangos de niveles de ruido industrial en la zona sur de coronel, indicando que el 16,14 % de la superficie está expuesta a niveles de ruido industrial superiores a 50 dBA. Es importante destacar que estos niveles consideran solo la emisión de las actividades industriales, quedando fuera el efecto del tránsito

industrial (camiones y trenes) el cual aumenta los niveles de ruido en algunos sectores de la comuna.

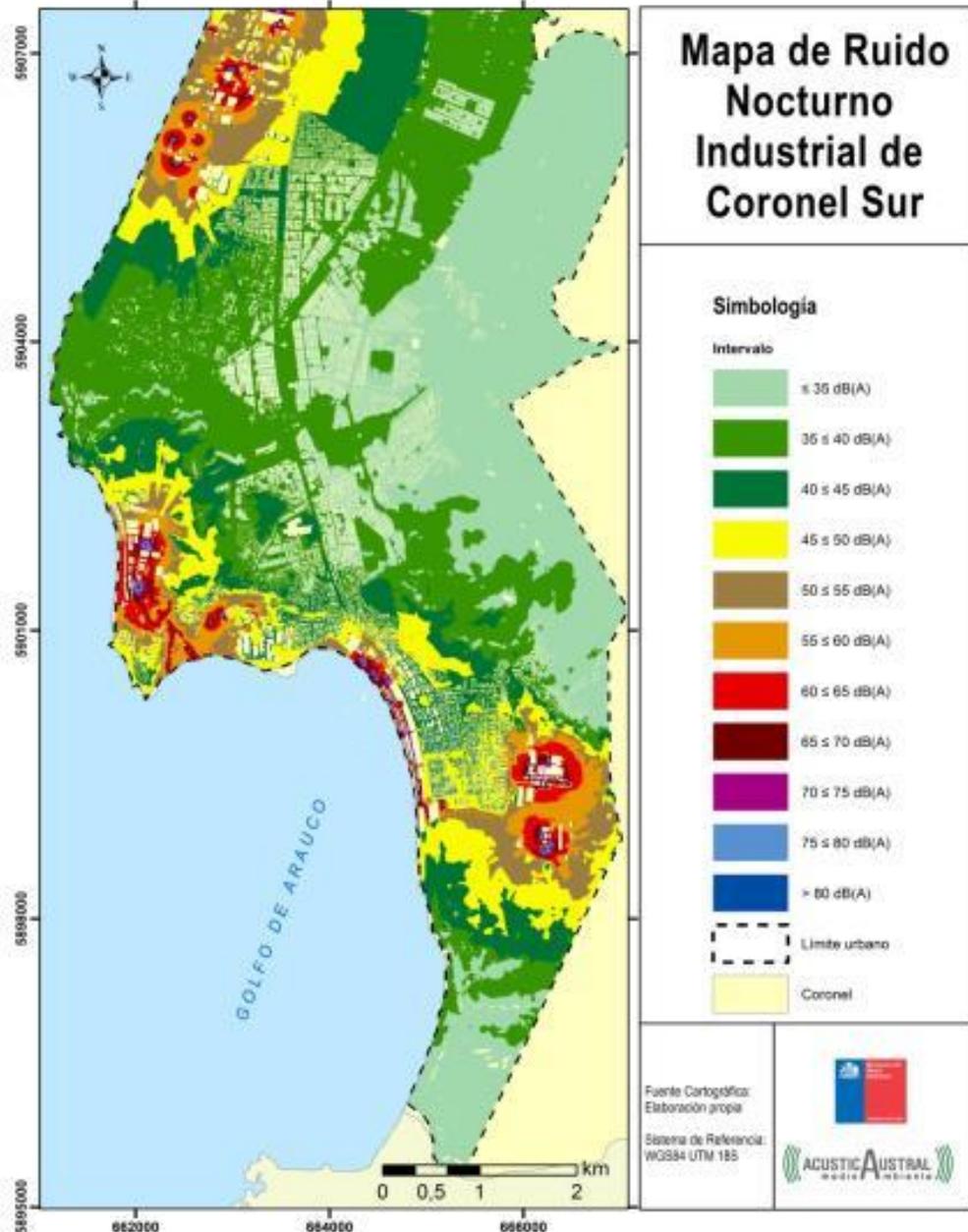


Figura 4: Mapa de ruido Industrial zona sur de coronel.

**Tabla 3 Porcentaje de superficie expuesta a diferentes rangos de niveles de ruido industrial en la zona Sur de Coronel.**

Intervalo (dBA)		Porcentaje de Superficie
Min	Max	
	50	83,86%
50	55	6,27%
55	60	4,12%
60	65	3,18%
65	70	1,54%
70	75	0,68%
75		0,36%

## 4 Observaciones finales

La utilización de una cámara acústica presenta claras ventajas en el proceso de obtención de datos para generar mapas de ruido industrial. Mediante un procedimiento rápido y sencillo es posible establecer fuentes predominantes y sus características espectrales, independiente de la complejidad de la planta y de la altura a las que se ubican las fuentes. Este último aspecto es de suma importancia, resolviendo el problema de medir fuentes de muy difícil acceso desde una gran distancia.

Además de la ventaja para asignar los niveles de potencia para efectos de modelamiento, la información generada por la cámara acústica es de gran utilidad en el análisis de posibles medidas de control tendientes a reducir el impacto de las emisiones de ruido hacia la comunidad.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido posible gracias al financiamiento del Ministerio del Medio Ambiente del Gobierno de Chile para el desarrollo del proyecto "Evaluación de los Niveles de Ruido en Coronel".

## Referencias

- [1] Comisión Nacional del Medio Ambiente (2010). Elaboración de Mapas de Ruido mediante Software de Modelación, para Caso Piloto (Comunas de Antofagasta y Providencia) (Contrato N° 01-059/09). Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.
- [2] Ministerio del Medio Ambiente (2010) Elaboración de Mapa de Ruido Comuna De Santiago Mediante Software de Modelación. Ficha de Licitación N° 1588-67-LE10. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.
- [3] Ministerio del Medio Ambiente (2011) Elaboración de Mapa de Ruido del Gran Santiago Mediante Software de Modelación. FICHA DE LICITACIÓN N° 608897-12-LE11. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.

- 
- [4] Ministerio del Medio Ambiente (2013-2015)Elaboración y Análisis de Mapas de Ruido de Tres Conurbaciones Mediante Software de Modelación. FICHA DE LICITACIÓN N° 608897-50-LP13. Proyecto Ejecutado por el Instituto de Acústica, Universidad Austral de Chile.
  - [5] ISO 3744: Acoustic – Determination of sound power levels and sound energy levels of noise sources using sound pressure – Engineering methods for an essentially free field over a reflecting plane.
  - [6] ISO 3746: Acoustic – Determination of sound power levels of noise sources using sound pressure – Survey method using an enveloping measurement surface over a reflecting plane.
  - [7] ISO 8297: Acoustic – Determination of sound levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment – Engineering method.
  - [8] ISO 9613: Attenuation of Sound during Propagation Outdoors. Part 1 (1993): Calculation of the Absorption of Sound by the Atmosphere. Part 2 (1996): General Method of Calculation. International Organization for Standardization, Genève, Switzerland.