

**CENTRO DE INVESTIGACIONES EN MECÁNICA TEÓRICA Y APLICADA  
CIMTA**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL (FRBB)**

11 de Abril 461, 8000 Bahía Blanca

Argentina

Tel. 54 291 4555220 (Int. 131, 128) Fax 54 291 4555311

E-mail: vcortine@frbb.utn.edu.ar

**ESTUDIO DE RUIDO EN LA LOCALIDAD DE INGENIERO WHITE  
(BAHÍA BLANCA):**

**Un Modelo Computacional para el Estudio de Escenarios Acústicos**

**INFORME FINAL**

**Dr. Ing. Víctor H. Cortínez**

**Dr. Ing. Martín E. Sequeira**

**Mg. Ing. Adrián P. Azzurro**

**Mg. Lic. Cecilia I. Stoklas**

Diciembre 2017

Los principales resultados expuestos en el presente informe han sido publicados recientemente en los siguientes artículos:

- M.E. Sequeira, V.H. Cortínez, A.P. Azzurro, C.I. Stoklas y F. Pons (2017). **Estudio de Ruido Industrial en la Localidad de Ingeniero White (Bahía Blanca) a partir de un Modelo Computacional.** Sexto Congreso del Proyecto Integrador para la Mitigación de la Contaminación Atmosférica (PROIMCA) ISBN 978-987-1896-84-4 ([http://www.edutecne.utn.edu.ar/prodeca-proimca/prodeca-proimca\\_2017.html](http://www.edutecne.utn.edu.ar/prodeca-proimca/prodeca-proimca_2017.html)).
  
- M.E. Sequeira, V.H. Cortínez, A.P. Azzurro, C.I. Stoklas y F. Pons (2017). **Un Modelo de Predicción de Ruido Industrial para la Localidad de Ingeniero White (Bahía Blanca).** XV Congreso Argentino de Acústica, Asociación de Acústicos Argentinos (<http://www.adaa.org.ar>) , noviembre 2017.

## **1. INTRODUCCIÓN**

El presente proyecto procuró contribuir a la caracterización objetiva del ruido en la localidad de Ingeniero White de la ciudad de Bahía Blanca. Dicha localidad está conformada por un área netamente urbana y por una zona industrial que reúne un conjunto de plantas multi-fuente, denominada Polo Petroquímico. Ambas zonas presentan diferencias fundamentales a partir del uso del terreno y de los niveles sonoros permitidos [1], generando esto un problema ocupacional de gran importancia. En tal sentido, se ha desarrollado una herramienta computacional adecuadamente calibrada para la evaluación del impacto ambiental de ruido a fin de utilizarse como ayuda a procesos de planificación urbana. Dicho modelo puede resultar de utilidad para generar algunos criterios de control de la contaminación sonora en dicha localidad.

Este proyecto constituyó una continuación del Estudio llevado a cabo entre el Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada CIMTA de la FRBB, UTN y el Comité Técnico Ejecutivo CTE de la Municipalidad de Bahía Blanca en los años 2011 y 2012.

## **2. ANTECEDENTES DEL PRESENTE ESTUDIO**

Durante los años 2011 y 2012, se estimaron los niveles de potencia sonora de las plantas industriales más significativas del Polo Petroquímico, a partir de un gran número de mediciones directas dentro de cada complejo industrial aplicando los lineamientos establecidos en la normativa ISO 8297 [2]. Si bien dichas plantas son sistemas multi-fuente, a los efectos de analizar el campo acústico lejano, se consideró apropiado idealizar el conjunto de fuentes de cada industria, como una sola fuente puntual equivalente omnidireccional.

Luego, se implementó un modelo de propagación sonora que permitió generar el mapa acústico del sector y determinar el impacto sobre el área poblada. Mediante dicho modelo, se determinaron puntos característicos asociados a cada planta industrial donde la influencia de cada una es predominante e independiente del resto, siendo posible entonces identificar directamente el nivel de potencia emitido a partir del nivel sonoro en el punto asociado y de la atenuación en el camino de propagación.

Los detalles del estudio pueden encontrarse en la referencia [3] y en el correspondiente informe técnico remitido al CTE.

### **3. OBJETIVOS DEL ESTUDIO REALIZADO**

#### **3.1. Objetivos generales**

Estudio de las características actuales del campo acústico generado por ruido industrial en la localidad de Ingeniero White, y utilización de tal conocimiento para la calibración de un modelo acústico computacional que contribuya al estudio de posibles medidas de mitigación en las situaciones en que ello sea necesario.

#### **3.2. Objetivos particulares**

##### **3.2.1.- Estudio de los antecedentes de generación de ruido en la zona. Revisión de estudios previos**

Esta actividad consistió en la revisión de los niveles acústicos preexistentes (niveles sonoros continuos equivalentes y otros indicadores) en la zona de Ingeniero White. Se ha establecido a partir de tal revisión una primera descripción del estado acústico de base. Para ello se utilizó principalmente la base de datos de los estudios previamente desarrollados en la zona por el Centro de Investigaciones en Mecánica Teórica y Aplicada CIMTA y el Comité Técnico Ejecutivo CTE de la Municipalidad de Bahía Blanca. Se logró así una actualización y reordenamiento de registros de ruido urbano. Esto ha hecho posible observar las zonas de mayor conflicto desde el punto de vista acústico así como las posibles fuentes acústicas de importancia.

##### **3.2.2.- Recopilación y Análisis de Datos sobre Niveles Acústicos. Caracterización Espectral**

Se ha efectuado un análisis estadístico de registros de ruido tanto preexistentes como así también nuevos. Estos últimos correspondieron a datos provistos por mediciones continuas en dos puntos de la localidad de Ing. White (aportados por el CTE) así como de diversas mediciones auxiliares discretas (realizadas de manera conjunta entre CIMTA y CTE). En particular se estudiaron distintos indicadores para la evaluación de molestia.

Asimismo se ha efectuado un análisis espectral del ruido percibido en la zona urbana de Ing. White, utilizando bandas de Octavas, Tercios de Octava y frecuencias individuales, a los propósitos de evaluar adecuadamente el grado de molestia del campo acústico, e identificar presuntas fuentes tonales.

### **3.2.3.- Discriminación de Ruido Industrial y Urbano vehicular**

A partir del análisis previo, se ha efectuado una comparación entre indicadores acústicos diurnos y nocturnos. Considerando que durante la noche, el flujo vehicular y el ruido comunitario son muy bajos, se hace posible de esta manera estimar las contribuciones industriales y urbanas de manera discriminada.

### **3.2.4.- Estimación de las potencias sonoras de las distintas fuentes industriales involucradas en la zona de Ing. White (actualización)**

Consistió en efectuar mediciones directas de niveles acústicos en cercanías de las fuentes en cuestión y a partir de las mismas identificar los niveles de potencia sonora haciendo uso de formulaciones matemáticas adecuadas. Esencialmente se intentó establecer que potencias sonoras deberían tener las fuentes en cuestión para que en los puntos adecuados se obtuvieran los valores de niveles sonoros registrados por medición directa.

En particular se utilizaron puntos testigo definidos en un estudio previo (2011) procurando minimizar la cantidad de mediciones necesarias.

### **3.2.5.- Modelo Acústico Computacional: Re-calibración**

Con los niveles de potencia establecidos, la ubicación de las fuentes y descripción del terreno se ha elaborado un modelo acústico. Esencialmente consiste en una formulación matemática computacional que permite obtener los niveles de presión sonora (y otros indicadores) en diferentes localizaciones espaciales. Se basa en la utilización de un modelo de propagación acústica adecuado.

Para esta tarea se ha hecho uso del programa SOUNDPLAN (o modelo equivalente). El modelo matemático desarrollado ha sido adecuadamente verificado. Es decir, se ha procurado que brinde valores suficientemente precisos de los niveles sonoros. Para ello se efectuaron mediciones de diferentes indicadores acústicos en puntos convenientemente seleccionados. En particular se han realizado registros espectrales, es decir considerando su contenido en frecuencia, por su importancia en la evaluación de la molestia y en la identificación de fuentes industriales. Esta actividad ha constituido esencialmente una re-calibración a partir de datos actualizados. La calibración inicial se había realizado según los datos del estudio previo (2011).

### **3.2.6.- Modelo Acústico Computacional: Estudio de Estado base actual estática**

Se elaboraron mapas acústicos con el modelo calibrado con el propósito de visualizar los lugares más conflictivos desde el punto de vista de la molestia, pudiéndose relacionar los niveles con las denuncias recibidas.

### **3.2.7.- Modelo Acústico Computacional: Estudio de distintos escenarios de interés**

A partir del modelo calibrado se efectuarán distintos estudios de interés, tales como el análisis de situaciones acústicas en función de diferentes direcciones e intensidades de viento (Elaboración de mapas acústicos).

## **4. METODOLOGÍA**

El presente trabajo se dividió en dos etapas. La primera etapa estuvo orientada a la revisión de los antecedentes de generación de ruido y niveles sonoros en la zona a fin de obtener una descripción más acabada de las características temporales y el estado acústico de base. Para ello se utilizaron la base de datos de estudios realizados entre el CIMTA y el CTE. A partir de esta etapa se desarrollaron los objetivos particulares 3.2.1, 3.2.2 y 3.2.3 descriptos anteriormente. Tales estudios fueron presentados en los Informes Técnicos 1, 2 y 3.

La segunda etapa estuvo dirigida a la actualización de los niveles de potencia sonora de las plantas industriales, considerando un número mínimo de mediciones directas, para luego emplear un modelo matemático simple y adecuado de propagación sonora implementado en el programa comercial SoundPLAN. Dicho modelo se validó a partir de la comparación entre los niveles sonoros medidos y simulados en diversas localizaciones del sector urbano y permitió reajustar el mapa acústico de la zona. A partir de esto, se generó una herramienta computacional actualizada para la valoración del impacto acústico a fin de utilizarse como complemento a procesos de planificación urbana.

Luego, se utilizó dicho modelo computacional para simular posibles escenarios acústicos. En particular se analizaron eventos ruidosos generados por una de las plantas industriales y la influencia de viento en la distribución de los niveles sonoros en la zona. En esta etapa se desarrollaron los objetivos particulares 3.2.4, 3.2.5 y 3.2.6 y, de manera parcial, los objetivos 3.2.7 y 3.2.8 descriptos anteriormente.

Las siete plantas industriales caracterizadas acústicamente son: **LHCII**, **LHCI** y **HDPE**, pertenecientes a la empresa PBB\_Polisur S.A., la cual es productora de etileno y polietileno; **Air Liquid**, que se dedica a la elaboración de gases industriales; **Profertil S.A.**, planta que produce amoníaco y fertilizantes; las plantas **Aceitera**, **Elevadores** y **Maltería** de la empresa **Cargill S.A.C.I.**, concentradora de cereales y la **Central Térmica Piedrabuena S.A. (TERMO)** de generación de electricidad.

La elección de dichas plantas se corresponde con su cercanía a la zona urbana como así también a sus características de emisión sonora. En la Figura 1 se presenta la zona bajo estudio donde se muestran las plantas industriales y la ubicación de los puntos de medición. Los receptores EMAC 1 y 2 corresponden a estaciones de monitoreo continuo y los receptores 1, 3, 5, 6 y 7 corresponden a puntos de medición discretos. Ambos conjuntos de receptores fueron determinados por el CTE y son utilizados para realizar controles periódicos y continuos de los niveles sonoros. Los receptores a, b, c, d y e corresponden a los puntos característicos de medición discretos y fueron propuestos a los efectos de complementar la información y permitir caracterizar acústicamente las principales fuentes industriales del sector [3].

Todas las mediciones se realizaron con un sonómetro B&K 2270 clase I perteneciente al CTE. Algunas mediciones adicionales fueron realizadas con un sonómetro SVANTEK SV 958 clase I perteneciente al CIMTA.

## **5. PRIMERA ETAPA: ANALISIS DE LOS NIVELES SONOROS EN LA ZONA DE ESTUDIO**

### **5.1. Mediciones continuas: características generales**

Se organizaron y analizaron los registros acústicos brindados por las estaciones de monitoreo continuo EMAC 1 y EMAC 2 (ver Figura 1) correspondientes a los periodos 1/2010 a 12/2015 y 10/2014 a 10/2015, respectivamente, a los efectos de estudiar las variaciones sonoras temporales en la zona. Dichas estaciones permiten obtener distintos indicadores acústicos con intervalos de medición de 1 h.

En la Figuras 2 a 5 se muestra, para la EMAC 1 y 2, el nivel sonoro equivalente con ponderación A, LAeq, promedio y los correspondientes desvíos para los distintos meses de cada año y para los periodos horarios diurno (7 a 22 h) y nocturno (22 a 7 h).

En el caso de la EMAC 1, se aprecia que el periodo con mayores niveles sonoros promedio se corresponde con los meses de abril hasta agosto inclusive, coincidiendo aproximadamente con las estaciones de otoño e invierno. Durante el periodo diurno, el LAeq promedio de los meses

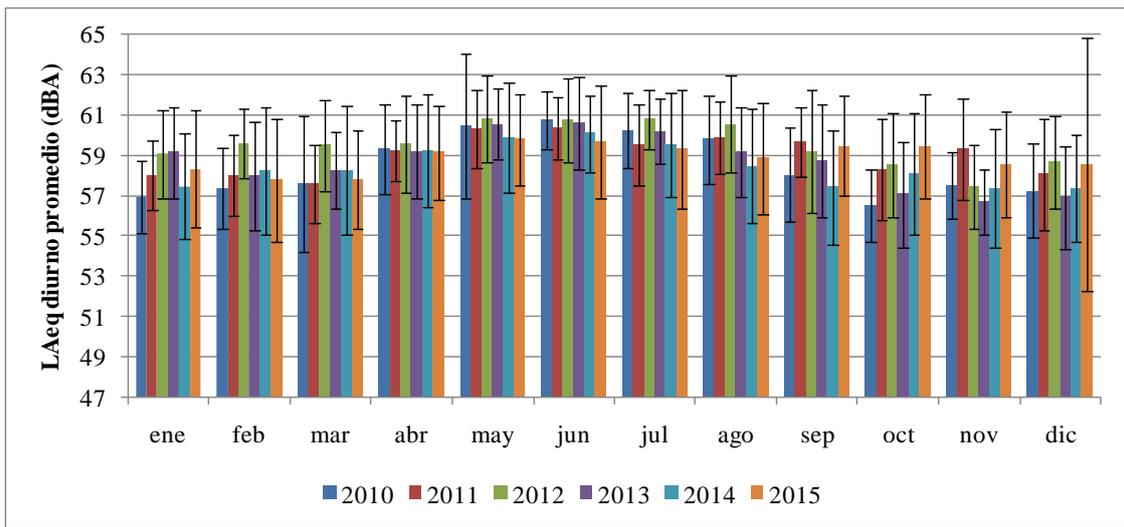
más ruidosos es de 59.6 dBA y la diferencia entre los meses más y menos ruidosos es de 1.5 dBA. En el periodo nocturno, el LAeq promedio de los meses más ruidosos es de 57.1 dBA y la diferencia promedio entre los meses más y menos ruidosos es de 2 dBA. La diferencia promedio entre el periodo diurno y nocturno es de 2.5 dBA (para los meses más ruidosos) y 3 dBA (para los meses menos ruidosos). Los desvíos generales promedio son mayores durante el día (2.4 dBA) que en la noche (1.9 dBA). Las fluctuaciones por año promediando todos los meses son pequeñas, del orden de 1 dBA, tanto para el periodo diurno como el nocturno.

En el caso de la EMAC 2, la diferencia promedio entre el periodo diurno y nocturno, contemplando todos los meses, es de 2.3 dBA. Los desvíos promedio son similares durante el día y la noche (~3 dBA).

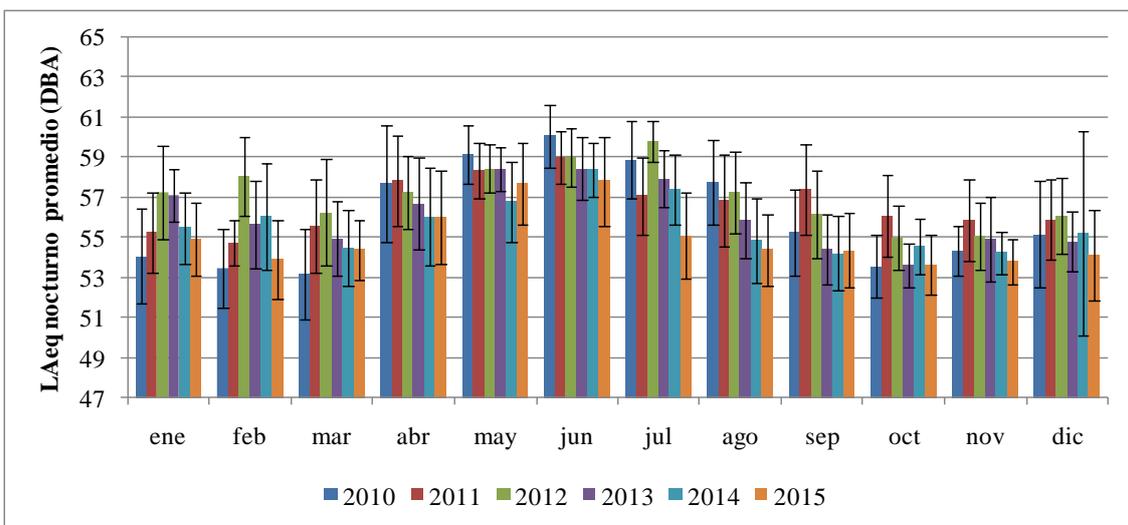
Se concluye que, en ambas estaciones, las variaciones sonoras son mucho menores que los desvíos. Esto señala que existe una gran uniformidad temporal en los niveles sonoros quedando éstos adecuadamente representados por los promedios generales.



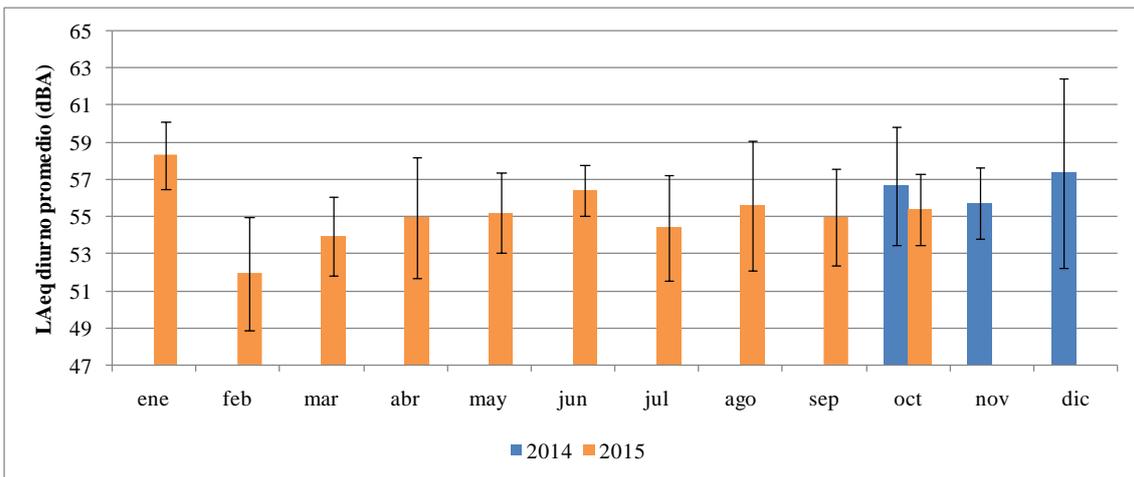
**Figura 1.** Delimitación de la zona urbana e industrial y ubicación de los puntos de medición y de las plantas industriales consideradas.



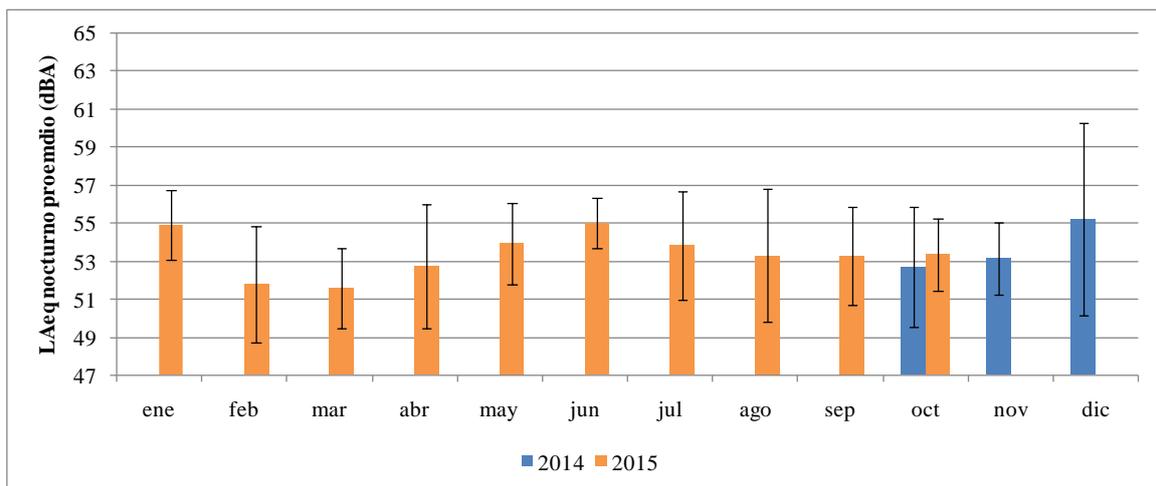
**Figura 2.** Valores del LAeq promedio por año y mes para el periodo diurno (EMAC 1).



**Figura 3.** Valores del LAeq promedio por año y mes para el periodo nocturno (EMAC 1).



**Figura 4.** Valores del LAeq promedio por año y mes para el periodo diurno (EMAC 2).



**Figura 5.** Valores del LAeq promedio por año y mes para el periodo nocturno (EMAC 2).

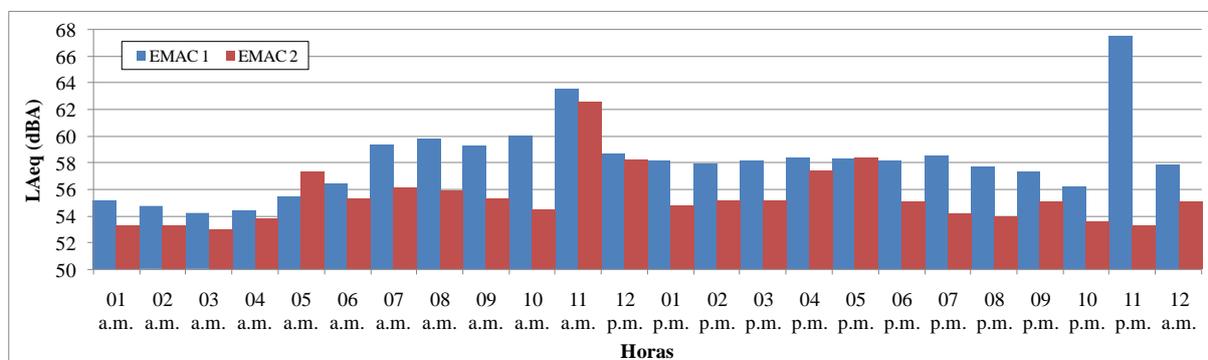
## 5.2. Mediciones continuas: Determinación del período nocturno asociado al ruido preponderantemente industrial

Para determinar las características exclusivas del ruido proveniente del sector industrial, es necesario analizar la franja horaria donde el ruido urbano sea el mínimo posible. Entonces, no es posible utilizar el periodo nocturno de manera completa ya que es factible encontrar, en dicho horario, otras fuentes de ruido tales como el tráfico urbano, ingreso y egreso de personal a las plantas, etc. En tal sentido, se estudió la distribución horaria nocturna del LAeq

promedio, en cada estación EMAC, durante el periodo 10/2014 – 10/2015. En las Figura 6 se muestra tal información.

A partir de esto, se establecieron los horarios correspondientes a los mínimos niveles, los que presumiblemente pueden asociarse al ruido emitido por los procesos continuos de las industrias. Es posible observar que el horario nocturno comprendido entre la 1 a.m. y las 4 a.m. inclusive es aquel que presenta las características enunciadas. Los valores del LAeq promedio para dicha franja horaria son 54.6 y 53.2 dBA, para la EMAC 1 y 2, respectivamente (ver Figura 6).

Es interesante comentar que el percentil L<sub>90</sub>, nivel que se sobrepasa o iguala durante el 90 % del tiempo de medición e indicador del ruido de fondo de acuerdo a algunas legislaciones sobre ruido urbano (ver por ejemplo referencia 5), promediado en todo el periodo (10/2014 – 10/2015) para la franja horaria completa es 54.5 y 50.4 dBA, para la EMAC 1 y 2, respectivamente. Estos niveles percentiles son similares a los LAeq promedio mencionados previamente, lo que permite revelar que la franja horaria establecida (de 1 a. m. a las 4 a. m.) se ajuste apropiadamente con aquélla que contiene los niveles sonoros mínimos en las ubicaciones de las estaciones de monitoreo continuo.



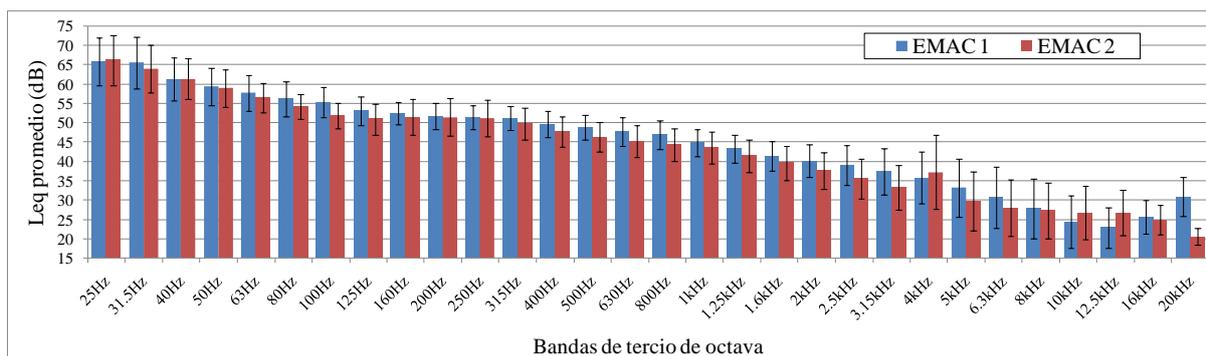
**Figura 6.** Variación horaria del LAeq promedio registrado en las EMAC 1 y 2 durante el periodo 10/2014 – 10/2015.

### 5.3. Mediciones continuas: Análisis de las características tonales

Para identificar y evaluar la posible tonalidad del ruido de origen industrial, se ha adopta un criterio similar al establecido por la norma IRAM 4062/01 [6], es decir se analiza el espectro en bandas de tercio de octava de los niveles sonoros buscando aquellas bandas en las cuales tales niveles son superiores en 5 dB respecto a las bandas contiguas. Esto indica un evento

tonal en la banda identificada. Esta información resulta de gran importancia debido a que la tonalidad genera mayor grado de molestia en la zona urbanizada pudiéndose interpretar como un aumento en el nivel sonoro percibido [5,6].

En tal sentido, se calcularon los valores en bandas de tercio de octava promedio, y los correspondientes desvíos, para el intervalo horario determinado en la sección anterior (1 a.m. a 4 a.m.). Dichos valores se muestran en la Figura 7.

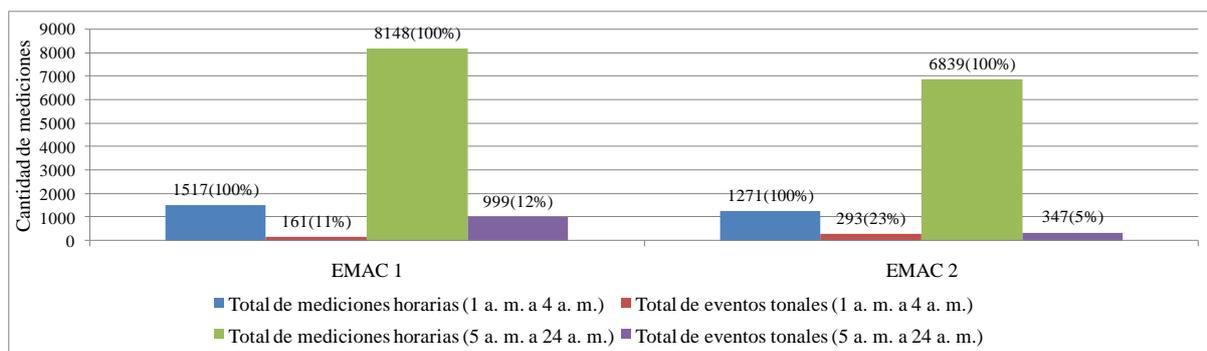


**Figura 7.** Leq y desvío promedio por bandas de tercio de octava en la EMAC 1 y 2.

Los valores del Leq promedio presentados en la Figura 7, pueden estar suavizados resultando así en un ocultamiento del posible efecto tonal. De hecho, no se observa una tonalidad marcada a partir del criterio de selección adoptado.

Por ello, se identificaron de manera individual (sin considerar valores promediados), en cada estación EMAC y para cada hora de medición, aquellas bandas que presentan tonalidad.

En la Figura 8 se muestra, para cada EMAC, la cantidad de eventos tonales respecto al total de mediciones, para las franjas horarias correspondientes al ruido industrial (1 a.m. a 4 a.m.) y al resto de las horas (5 a.m. a 12 a.m.). Se descartaron del estudio aquellas mediciones donde no se registró todo el intervalo diario de medición (24 h) debido a problemas técnicos con los equipos. Entonces, se analizaron un total de 9665 h y 8110 h para la EMAC 1 y 2, respectivamente.



**Figura 8.** Recuento de eventos tonales para las franjas horarias establecidas durante el periodo 10/2014 al 10/2015.

En la franja horaria de ruido industrial (1 a.m. a 4 a.m.), se aprecia que el 11% de las mediciones presentan tonalidad en la EMAC 1, mientras que el 23 % de las mediciones registra eventos tonales en la EMAC 2.

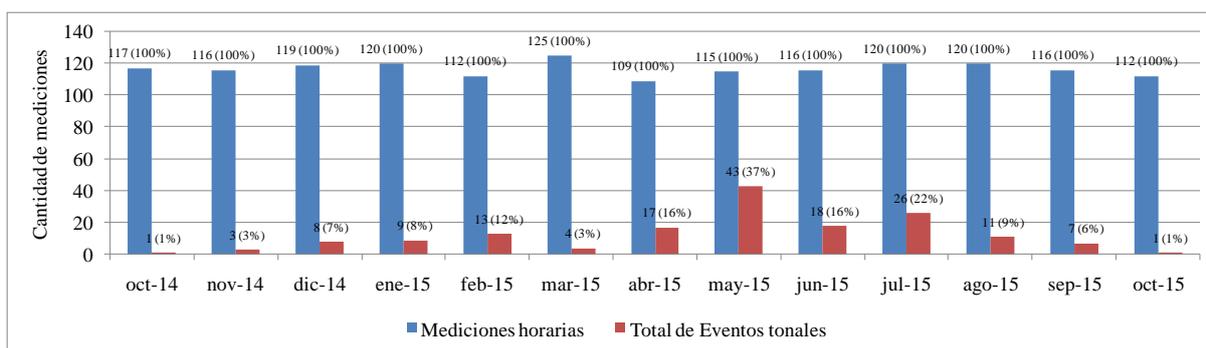
Observando el resto de franja horaria (5 a.m. a 24 a.m.), el 12% (5%) de las mediciones horarias presentan tonalidad en la EMAC 1 (EMAC 2).

Al comparar la cantidad de eventos tonales en esta última franja con los obtenidos en la franja horaria industrial, se puede apreciar una disminución importante de la cantidad de eventos en la estación EMAC 2 mientras que en la EMAC 1 es similar. Esto podría señalar que los niveles sonoros registrados en la EMAC 2 estarían influenciados por la actividad industrial mientras que los registros tonales en la EMAC 1 serían producidos por fuentes mixtas. La presencia de una vía con un importante flujo vehicular (en particular de vehículos pesados) muy cercana a la EMAC 1, podría explicar esta observación.

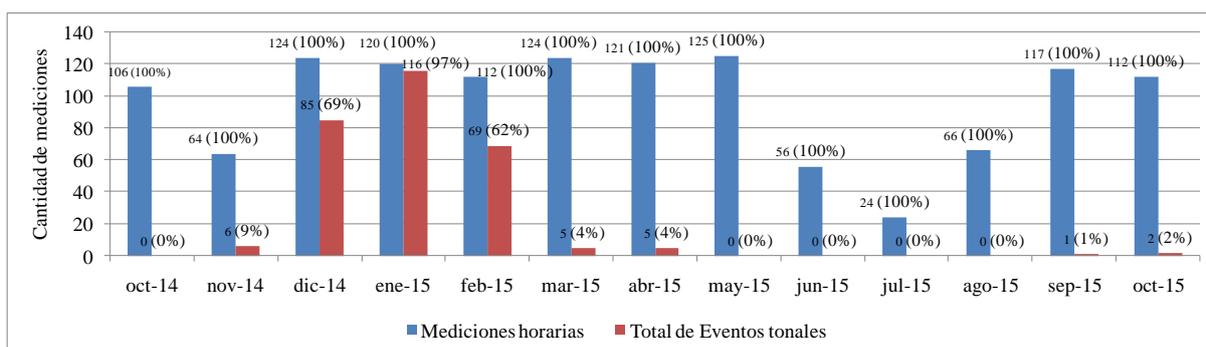
Realizando un análisis detallado en la franja horaria de ruido industrial, se estableció que en la EMAC 1 los eventos tonales corresponden fundamentalmente a la banda de 31.5 Hz (en el 71 % de las mediciones), seguida por la banda de 4000 Hz (6 %) mientras que para la EMAC 2 la banda predominante es la de 4000 Hz (95 %), seguida por la banda de 8000 Hz (3 %).

En las Figuras 9 y 10 se presentan las distribuciones mensuales de los eventos tonales para la franja horaria de ruido industrial en cada estación EMAC.

Se observa que para la EMAC 1 la mayor cantidad de tales eventos se produjeron entre los meses de abril y agosto de 2015 (se corresponde con los meses más ruidosos para el periodo nocturno, ver figura 3) mientras que para la EMAC 2 se produjeron entre diciembre de 2014 y febrero de 2015.



**Figura 9.** Mediciones horarias totales y cantidad de eventos con tonalidad por mes (periodo de 1 a. m. a 4 h a. m.) para la EMAC 1.



**Figura 10.** Mediciones horarias totales y cantidad de eventos con tonalidad por mes (periodo de 1 a. m. a 4 h a. m.) para la EMAC 2.

Al analizar la distribución de tonalidad por bandas en la franja horaria restante (5 a.m. a 24 a.m.), se determinó que para la EMAC 1 los eventos tonales corresponden fundamentalmente a la banda de 31.5 Hz (77 %), seguida por la banda de 50 Hz (6 %) mientras que para la EMAC 2 la banda predominante es la de 4000 Hz (67 %), seguida por la banda de 3150 Hz (10 %).

A partir de esto, es posible apreciar que las bandas predominantes son las mismas que las obtenidas en la franja horaria correspondiente al ruido industria.

Al comparar las distribuciones mensuales de los eventos tonales para la franja horaria restante (5 a.m. a 24 a.m.) con las obtenidas en la franja horaria de ruido industrial (1 a.m. a 4 a.m.), se pudo determinar que la mayor cantidad de eventos se produjeron en los mismos meses.

#### 5.4. Mediciones discretas: Características generales

Se analizaron los niveles sonoros en los puntos discretos de medición durante el período 1/2013 – 5/2016. Los horarios de medición fueron establecidos entre las 9 p.m. y las 7 a.m. y se realizaron, en promedio, entre 16 y 266 mediciones en cada uno de los puntos. Las mediciones se efectuaron en condiciones normales de operación de las plantas, con velocidades de viento inferiores a 5 m/s, a una altura de 1.5 m y evitando registros de eventos ajenos al ruido proveniente del sector industrial. En la Figura 11 se muestran los valores promedio del LAeq, y los correspondientes desvíos, por año y para cada punto de medición analizado.

Se observa que las variaciones anuales son mucho menores que los desvíos. Se concluye que hay una gran uniformidad temporal que es menor a 2.8 dBA, siendo éste el desvío promedio. Entonces, los niveles sonoros quedan representados por los promedios globales.

En particular, las mediciones realizadas en el periodo 10/2015 – 5/2016, presentan información en bandas de tercio de octava, la cual se analiza en la siguiente sección. Además, en la sección 6.1, dicha información se utiliza para estimar el nivel de potencia sonora Lw de los complejos industriales.

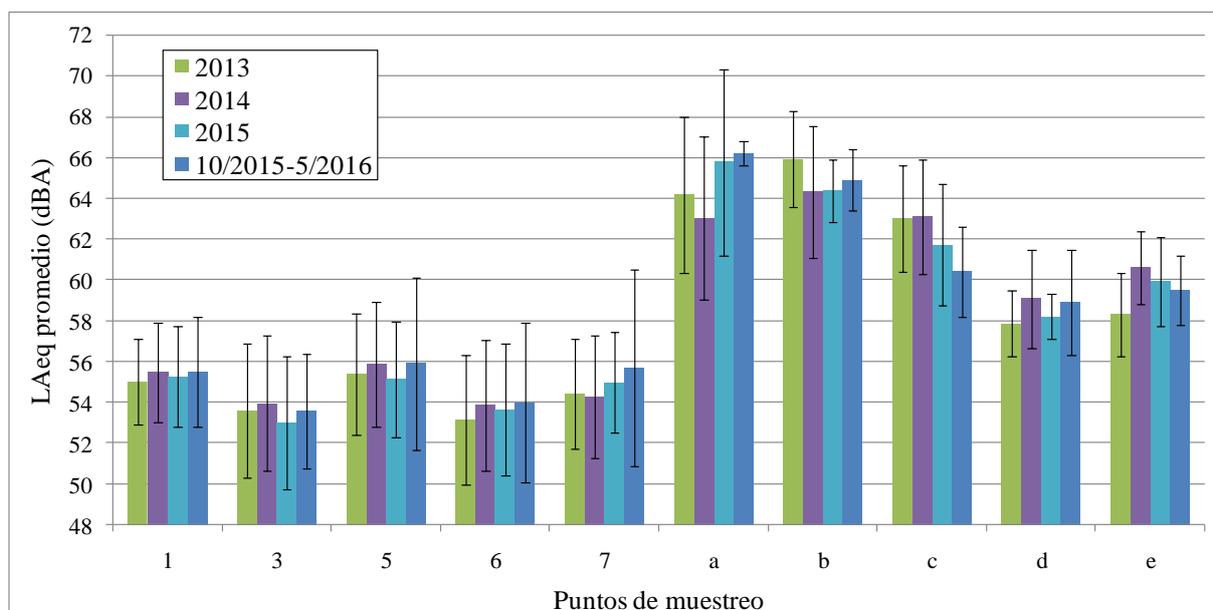


Figura 11. LAeq promedio y desvíos en los puntos de medición discretos.

## 5.5. Mediciones discretas: Análisis de las características tonales

Con la finalidad de comparar y relacionar las características tonales de origen industrial con aquéllas encontradas en las estaciones de monitoreo continuo (ver sección 5.3), se identificaron los eventos tonales en los puntos discretos de medición. Se analizó el periodo de 10/2015 a 5/2016, dado que el mismo presenta información en bandas de tercio de octava.

Se comprobó que el punto 6 (ver figura 12) presenta tonalidad en las bandas de 31.5 Hz (en el 4.2 % de las mediciones) y 4000 Hz (16.7 %), apreciándose una relación directa, dada su cercanía, con los eventos tonales registrados en la EMAC 1.

Por su parte, el punto 3 (ver figura 12) presenta tonalidad en las bandas de 4000 Hz (3.8 %) y 8000 Hz (7.7 %) y el punto 5, en la banda de 4000 Hz (3.4 %). En estos casos, se observa cierta equivalencia tonal con la EMAC 2. Sin embargo, es difícil presumir que fuente industrial podría ser la responsable de dicha tonalidad ya que la EMAC 2 se encuentra relativamente cerca a varias de ellas.

No se encontró tonalidad en los puntos receptores restantes.

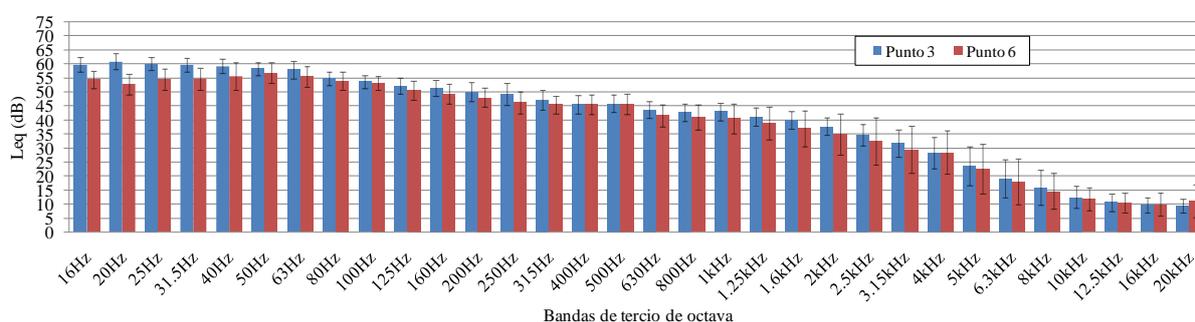


Figura 12. Leq por bandas de tercios de octavas en los puntos de medición discretos 3 y 6.

## 6. SEGUNDA ETAPA: ACTUALIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO PARA LA CARACTERIZACIÓN SONORA DE LA ZONA URBANA

### 6.1. Estimación de los niveles de potencia sonora

A efectos de caracterizar acústicamente cada planta industrial, se supuso que cada una de ellas puede ser representada, desde el punto de vista acústico, como una fuente puntual omnidireccional equivalente ubicada en un punto particular en el interior de su predio [3].

Luego, se hicieron corresponder los puntos característicos (a, b, c, d y e) con las fuentes industriales más cercanas. De esta forma, dada su cercanía, es apropiado considerar que los niveles sonoros en dichos puntos provienen mayoritariamente de la fuente más próxima.

Este hecho permite estimar el nivel de potencia sonora  $L_w$  de cada fuente industrial a partir del valor del nivel sonoro  $Leq$  del punto característico más cercano con la ayuda de un modelo de propagación adecuado. Para ello, se utilizaron los niveles sonoros ( $Leq$ ) promediados en el periodo de 10/2015 a 5/2016, dado que el mismo presenta información en bandas de octava. Además, se realizaron mediciones adicionales entre marzo y abril de 2017 en los puntos característicos a – e. Esto permitió actualizar los niveles promedio con respecto a los presentados en informes previos. A partir de estos niveles actualizados se determinaron los niveles de potencia sonora ( $L_w$ ) de las plantas industriales involucradas. Estos difieren levemente de los presentados en el Informe Técnico 4, dado que se utilizaron nuevos valores de  $Leq$  para obtenerlos.

Es importante mencionar las siguientes consideraciones sobre los niveles de potencia sonora:

- Para el caso de la fuente HDPE (la cual se encuentra muy próxima a las plantas LHCI y Air Liquid), se estableció un procedimiento inverso de identificación [3] que involucra los niveles de potencia de las tres industrias mencionadas y los niveles sonoros en los puntos característicos asociados b, c y d (ver Figura 1).

- Debido a que no se pudieron realizar mediciones auxiliares en locaciones cercanas a las tres fuentes que conforman la planta de Cargill (Aceitera, Maltería y Elevadores), se utilizaron los niveles de potencia obtenidos en el estudio del año 2011 [3].

- A partir de la instalación de un nuevo equipamiento en la planta Profertil en el año 2015 [7], fue posible actualizar su nivel de potencia sonora, determinar el diagrama de directividad asociado y utilizar dicha información en el presente estudio.

En la Tabla 1, se presenta el nivel de potencia  $L_w$  total y los valores por bandas de octava, calculado en el año 2011 [3], en la actualidad y las diferencias entre ambos, para cada fuente industrial. En general, se muestra que los niveles de potencia actuales, salvo en el caso de la fuente Air Liquid, son levemente superiores a los estimados en el año 2011.

Fuente industrial		Nivel de potencia sonora Lw (dB) por banda de octava (Hz)								Lw total (dB)	
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
LHCII	año 2011	124.2	121.0	118.8	116.2	118.4	116.5	116.4	116.3	128.5	
	actual	122.5	124.2	124.1	119.2	122.3	122.3	122.7	132.9	135.1	
	diferencia	1.6	-3.3	-5.3	-3.0	-4.0	-5.8	-6.3	-16.6	-6.7	
LHCI	año 2011	127.2	123.6	121.8	120.2	120.3	121.3	123.5	123.0	132.2	
	actual	124.7	125.6	125.0	122.3	120.9	119.4	119.4	126.2	132.7	
	diferencia	2.5	-2.0	-3.2	-2.1	-0.5	1.8	4.1	-3.3	-0.5	
HDPE	año 2011	118.3	115.6	116.0	113.8	110.0	110.2	111.3	105.1	123.1	
	actual	110.5	118.2	121.8	121.4	121.2	120.1	116.7	123.3	129.3	
	diferencia	7.8	-2.6	-5.9	-7.6	-11.2	-9.9	-5.4	-18.2	-6.2	
Air Liquid	año 2011	122.1	119.9	118.3	115.8	109.5	101.9	94.1	88.9	125.7	
	actual	114.8	112.1	111.7	110.0	106.9	104.9	97.3	91.8	119.1	
	diferencia	7.2	7.8	6.5	5.7	2.6	-3.1	-3.2	-3.0	6.7	
Profertil		año 2015	134.2	132.1	129.1	124.5	123.5	125.9	129.6	144.6	145.5
Cargill	Aceit.	año 2011	123.2	119.4	113.7	110.7	106.9	103.8	102.2	99.6	113.5
	Malt.		118.0	114.0	111.2	109.8	106.3	102.8	99.5	95.1	111.9
	Elev.		124.6	121.8	120.5	119.1	113.9	108.9	105.9	101.7	120.0
Termoeléctrica		actual	116.1	117.1	117.0	115.8	112.4	112.6	109.0	117.6	124.5

**Tabla 1.** Nivel de potencia sonora Lw estimado para cada fuente industrial.

## 6.2. Modelo de propagación sonora

El modelo de propagación utilizado está basado en la norma ISO 9613-2 [8]. Se contemplaron los efectos de atenuación debido a divergencia esférica  $A_{div}$  y a la absorción del suelo  $A_{suelo}$  y del aire  $A_{aire}$  en el camino de propagación. Además, debido a la atenuación que ocurre por el efecto de dispersión originado por los distintos obstáculos ubicados dentro del perímetro de cada planta industrial, se consideró una atenuación adicional denominada  $A_{sitio}$  [8]. Dado que el terreno no presenta grandes desniveles, se supuso todo el sector como plano.

En consecuencia, el nivel sonoro continuo equivalente  $Leq_{bf}$  en la posición del receptor y para la banda de octava bf (63 a 8000 Hz), queda expresado de la siguiente manera:

$$Leq_{bf} = Lw_{bf} + Dc_{bf} - A_{bf} , \quad (1)$$

donde  $Lw_{bf}$  es el nivel de potencia sonora de la fuente,  $Dc_{bf}$  es el factor de corrección por directividad de la fuente y  $A_{bf}$  es el término que contempla la contribución de las distintas atenuaciones en el camino de propagación. Todos los términos citados están expresados en dB.

En particular, el factor  $Dc_{bf}$  se consideró igual a cero (fuentes omnidireccionales), salvo al contemplar la fuente PROFERTIL, donde se utilizó la directividad asociada [7].

Las expresiones de las distintas atenuaciones consideradas en el término  $A_{bf}$  se enuncian a continuación:

$$A_{div} = 20 \log \left( \frac{d}{d_0} \right) + 11 \quad (2)$$

$$A_{suelo} = A_s + A_m + A_r \quad (3)$$

$$A_{aire} = \alpha d / 1000 \quad (4)$$

$$A_{sitio} = \alpha_{sitio} d_s \quad (5)$$

donde  $d$  es la distancia entre la fuente y el receptor;  $\alpha$  es el coeficiente de atenuación atmosférica para cada banda de octava;  $A_s$ ,  $A_m$  y  $A_r$  son las componentes de atenuación en la región cercana a la fuente, entre la fuente y el receptor y cercana al receptor, respectivamente [8];  $d_0$  es la distancia de referencia y  $\alpha_{sitio}$  es el coeficiente de atenuación, por banda de octava, de los distintos equipos industriales a lo largo del camino de propagación  $d_s$  que atraviesa el complejo industrial.

Finalmente, el nivel sonoro  $LA_{eq}$  total en cada punto receptor se obtiene a partir de considerar la contribución del nivel sonoro calculado de acuerdo con la expresión (1), para cada fuente sonora  $j$  y para cada banda de octava afectada por el factor de corrección correspondiente a la red de ponderación A (PondA):

$$LA_{eq} = 10 \log \left\{ \sum_{j=1}^N \left[ \sum_{bf=1}^8 10^{\left( \frac{L_{eq,j,bf} + PondA_{bf} + C_{viento,j,bf}}{10} \right)} \right] \right\}, \quad (6)$$

siendo  $N$  es el número de fuentes industriales consideradas. La ecuación precedente incluye un término de corrección  $C_{viento}$  que contempla los efectos del viento. Dicho término solo se consideró para el estudio de la influencia del viento (ver sección 6.4.2) y se calculó a partir de lo establecido en la norma CONCAWE [9].

### 6.3. Actualización del modelo acústico computacional

Con los niveles de potencia y el modelo de propagación, implementado numéricamente a través del programa comercial SoundPLAN, se confeccionó el mapa acústico de base correspondiente al ruido industrial para la localidad de Ingeniero White (ver Figura 13). Cabe

destacar que dicho mapa contempla una situación de operación normal de las plantas industriales y condiciones de viento casi nulas (con velocidades de viento  $< 5$  m/s).

En la Tabla 2 se muestra la comparación entre los niveles sonoros medidos y simulados en los puntos de medición. Se observa, en general, un buen ajuste.

La diferencia promedio, en valor absoluto, del LAeq para todos los puntos es de 1.2 dBA. La máxima diferencia es de 3.6 dBA en el punto 7. Esto puede deberse a que no se actualizaron los niveles de potencia de las fuentes que conforman la planta CARGILL, siendo ésta la principal fuente contribuidora en dicho punto.

Al comparar los valores en bandas de octava, se observa una diferencia promedio, en valor absoluto, de 3 dB. Las bandas que presentan mayores discrepancias son 63 y 8000 Hz. Una posible explicación puede ser la falta de contemplación de directividad en la mayoría de las fuentes analizadas.



**Figura 13.** Mapa acústico originado por el ruido industrial en condiciones normales de operación de las plantas y sin viento.

Punto de medición		Nivel sonoro equivalente Leq (dB) por banda de octava (Hz)								LAeq total (dBA)
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
EMAC 1	medido	62.2	57.9	55.6	52.7	49.3	44.6	40.6	33.4	54.6
	simulado	69.2	60.9	56.4	53.6	48.6	45.4	34.0	11.2	55.3
	diferencia	-7.0	-3.0	-0.8	-0.9	0.7	-0.8	6.6	22.2	-0.7
EMAC 2	medido	61.2	55.9	55.3	50.9	47.8	42.9	39.6	33.2	53.2
	simulado	55.4	51.1	47.5	42.1	39.1	33.3	14.9	-31.0	44.9
	diferencia	5.8	4.8	7.8	8.8	8.7	9.6	24.7	64.2	8.3
1	medido*31	65.3	60.8	57.8	53.3	49.3	45.2	37.1	25.4	55.5
	simulado	72.0	62.2	57.1	52.3	47.9	44.9	34.5	4.5	55.3
	diferencia	-6.7	-1.4	0.7	1.0	1.4	0.3	2.6	20.9	0.2
3	medido*26	62.9	57.9	55.2	50.9	48.1	43.9	37.1	25.6	53.6
	simulado	65.7	59.6	56.0	51.5	50.4	48.3	34.0	6.4	55.5
	diferencia	-2.8	-1.7	-0.8	-0.6	-2.3	-4.4	3.1	19.2	-1.9
5	medido*29	63.5	59.2	54.2	51.9	51.8	47.9	41.5	29.9	55.9
	simulado	67.3	61.0	58.1	54.4	52.9	49.6	40.4	19.6	57.7
	diferencia	-3.8	-1.8	-3.9	-2.5	-1.1	-1.7	1.1	10.3	-1.8
6	medido*24	61.6	56.9	52.6	50.8	48.5	47.1	40.2	28.3	54.0
	simulado	60.7	56.5	53.1	51.0	48.1	46.8	39.5	28.3	53.8
	diferencia	0.9	0.4	-0.5	-0.2	0.4	0.3	0.7	0.0	0.2
7	medido*17	65.9	61.4	54.9	52.8	51.1	44.8	43.5	30.4	55.7
	simulado	79.3	68.8	60.1	55.2	49.2	43.9	37.6	24.4	59.3
	diferencia	-13.4	-7.4	-5.2	-2.4	1.9	0.9	5.9	6.0	-3.6
a	medido *5	69.5	66.4	62.8	57.4	61.4	60.1	57.7	50.9	66.2
	simulado	68.6	66.1	63.6	58.6	61.1	59.7	56.7	50.1	66.0
	diferencia	0.9	0.3	-0.8	-1.2	0.3	0.4	1.0	0.8	0.2
b	medido*5	71.6	67.7	63.7	60.4	59.9	57.2	54.3	44.1	64.9
	simulado	70.2	66.0	62.5	59.0	58.5	55.7	51.9	40.9	63.3
	diferencia	1.4	1.7	1.2	1.4	1.4	1.5	2.4	3.2	1.6
c	medido*5	67.7	61.7	57.7	55.7	56.4	53.4	46.6	29.2	60.4
	simulado	67.9	62.1	58.7	55.3	54.9	52.0	44.7	27.8	59.4
	diferencia	-0.2	-0.4	-1.0	0.4	1.5	1.4	1.9	1.4	1.0
d	medido*5	66.1	60.7	58.4	56.4	53.8	51.1	41.9	26.9	58.9
	simulado	67.7	61.7	59.0	56.0	55.2	52.3	42.2	26.5	59.7
	diferencia	-1.6	-1.0	-0.6	0.4	-1.4	-1.2	-0.3	0.4	-0.8
e	medido*2	67.9	64.7	61.6	56.7	53.4	50.6	41.5	22.7	59.5
	simulado	74.4	64.3	58.7	55.3	52.1	52.5	45.1	25.7	59.2
	diferencia	-6.5	0.4	2.9	1.4	1.3	-1.9	-3.6	-3.0	0.3

**Tabla 2.** Comparación entre los niveles sonoros medidos y simulados. El índice \* indica el número de mediciones promediadas para obtener el nivel sonoro en cada punto receptor. Todas las mediciones fueron realizadas en el período 10/2015 a 5/2016. En particular, para los puntos característicos a, b, c, d y e las fechas fueron las siguientes: 7/10/15; 17/5/16; 18/5/16; 20/5/16 y 21/3/17.

## 6.4. Estudio de escenarios de interés

### 6.4.1. Simulación de eventos ruidosos en la Central Piedra Buena (Termoeléctrica)

A partir de los niveles sonoros continuos medidos en la estación EMAC 1, se estudiaron distintos eventos ruidosos originados principalmente por venteos de vapor en la Central Termoeléctrica Piedra Buena (TERMO) durante el periodo 5/2015 a 12/2016.

Se registraron un total de 11 eventos durante tal periodo. No se identificaron tonalidades en dichos eventos al analizar los niveles en bandas de tercios de octava.

En la Figura 14 se muestra los niveles sonoros globales (LAeq) y en bandas de octava para cada evento. Los tiempos de permanencia de los eventos fueron entre 20 s y 1 h, siendo el tiempo promedio igual a 7 min.

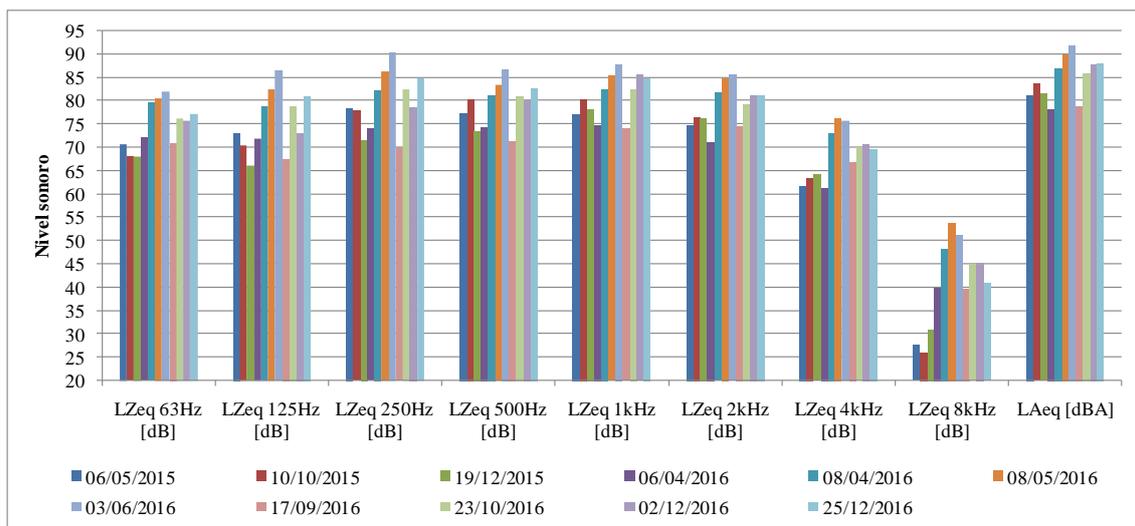


Figura 14. Eventos sonoros ruidosos producidos por la Termoeléctrica y registrados en la EMAC 1.

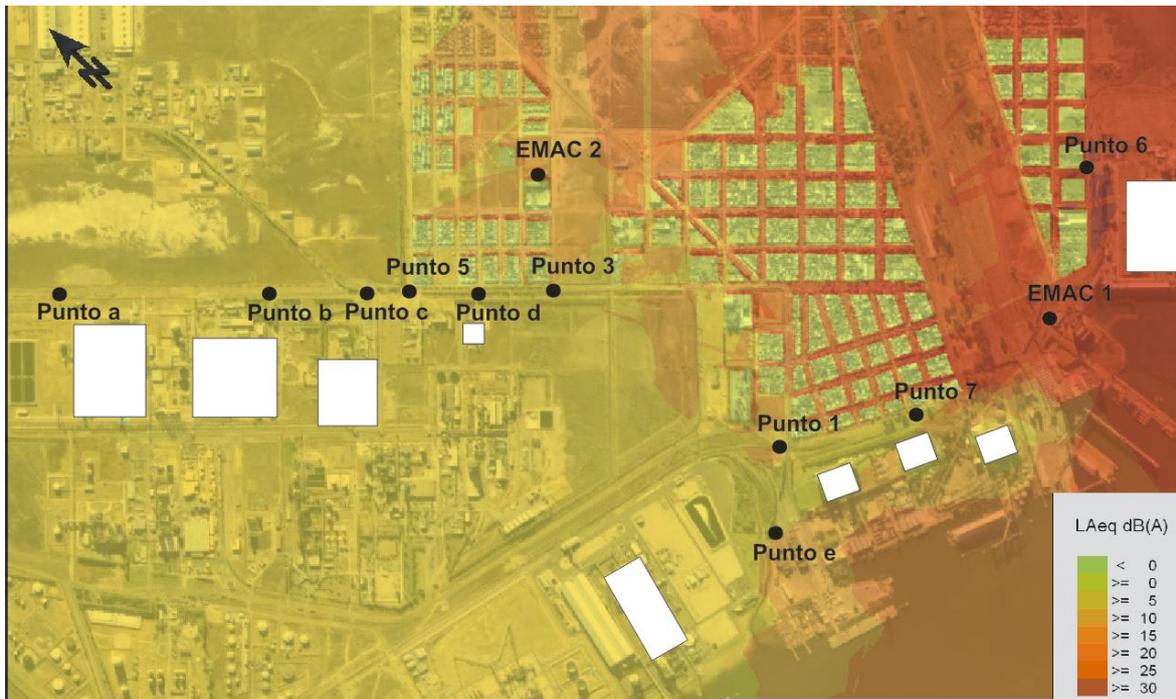
Con los valores sonoros promedio medidos en la EMAC 1, se estimó el  $L_w$  de la fuente Termoeléctrica para la situación anómala mencionada. Dicha estimación se realizó utilizando el modelo de propagación descrito anteriormente.

A partir del nivel de potencia sonora anómalo, se estimó el impacto sonoro de la nueva configuración de la fuente TERMO sobre la zona poblada (manteniendo inalterable los niveles de potencia de las fuentes restantes). Dicha información se muestra en el mapa acústico de la Figura 15.

En la Figura 16 se expone el mapa de diferencias entre los niveles sonoros simulados contemplando la fuente Termoeléctrica generando eventos ruidosos y operando en condiciones normales. En la Tabla 3 se muestra la misma información en cada punto receptor. Se observa que, en la zona urbana cercana a la fuente y en presencia de dichos eventos, el LAeq supera los 25 dBA.



**Figura 15.** Mapa acústico originado por el ruido industrial contemplando eventos ruidosos en la fuente Termoeléctrica.



**Figura 16.** Diferencia entre el mapa acústico que contempla los eventos ruidosos generados por la Termoeléctrica (Figura 15) y el mapa acústico para la situación base (Figura 13).

Punto de medición	Situación base	Situación eventos ruidosos Termoeléctrica	Diferencia LAeq(dBA)
	LAeq total (dBA) simulado	LAeq total (dBA) Simulado	
EMAC 1	55.3	82.3	27.0
EMAC 2	44.9	53.6	8.7
1	55.3	60.2	4.9
3	55.5	57.6	2.1
5	57.7	58.4	0.7
6	53.8	83.5	29.7
7	59.3	63.7	4.4
a	66	66	0
b	63.3	63.3	0
c	59.4	59.7	0.3
d	59.7	60.3	0.6
e	59.2	61.2	2

**Tabla 3.** Niveles sonoros simulados contemplando la fuente Termoeléctrica operando en condiciones normales y generando eventos ruidosos.

#### 6.4.2. Influencia del viento sobre la distribución espacial de los niveles sonoros

En esta sección, se estudia la incidencia del viento sobre la variación de los niveles sonoros en la zona de estudio. Para ello, se consideran los lineamientos generales, sobre correcciones meteorológicas, establecidos en la norma CONCAWE [9]. Este modelo considera aspectos tales como dirección y magnitud del viento y la estabilidad atmosférica, basados en los

estudios experimentales [9]. Entonces, el término de atenuación sonora debida a los efectos del viento ( $C_{\text{viento}}$ ) es calculado para cada banda de octava según la clasificación de las condiciones ambientales presentes en el camino de propagación del sonido de acuerdo a la estabilidad atmosférica, obteniendo así seis categorías (categorías A – G). Una vez definida la categoría de la condición climática en análisis, y de acuerdo a la magnitud del vector de viento ( $v$ ) medido al nivel del suelo (componente en dirección fuente–receptor), se define la categoría meteorológica final y se establecen las ecuaciones para los términos de atenuación sonora para cada banda de octava.

En este estudio, se adopta la categoría D (estabilidad atmosférica neutra o estable) y una velocidad del viento promedio  $v = 10$  m/s.

En la Figura 17 se muestra el mapa de diferencias entre los niveles sonoros simulados con y sin viento (es último, representado por el mapa acústico de base). En particular, se contempló la situación más desfavorable, donde la dirección del viento se considera predominante desde cada una de las fuentes hacia cada receptor (esta situación representa la cota máxima de incremento sonoro sobre cada receptor para la velocidad establecida).

En la Tabla 4 se muestra la diferencia entre los niveles sonoros simulados en los puntos de medición para las situaciones con y sin viento. Se observa un aumento del LAeq promedio igual a 5 dBA en los puntos receptores.

Es necesario subrayar que la metodología implementada permite obtener valores indicativos de las variaciones de los niveles sonoros debida a la refracción del sonido en presencia de distintas velocidades de viento. En tal sentido, sería necesario estudiar experimentalmente el efecto del viento bajo distintas condiciones adicionales (ej. situaciones de turbulencia locales) a fin de conocer su influencia de una manera más objetiva.



**Figura 17.** Diferencia entre el mapa acústico con y sin viento.

Punto de medición	Diferencia con y sin viento $L_{Aeq}$ simulado total (dBA)
EMAC 1	5.3
EMAC 2	5.8
1	4.9
3	5.2
5	5.1
6	4.8
7	3.8
a	4.7
b	4.8
c	5.0
d	4.2
e	4.8

**Tabla 4.** Diferencia entre niveles sonoros simulados con y sin viento.

## 7. CONCLUSIONES

Se ha actualizado el mapa acústico de la zona urbana lindera al Polo Petroquímico de la localidad de Ing. White en la ciudad de Bahía Blanca, contemplando como únicamente las fuentes de ruido de origen industrial. El estudio realizado se ha dividido en dos etapas.

En la primera etapa, se han analizado los antecedentes sonoros en la zona, a partir de mediciones continuas y discretas, alcanzándose las siguientes conclusiones:

- Se ha determinado el intervalo horario nocturno (1 a. m. a 4 a. m.) en el cual el ruido existente en inmediaciones de las estaciones de monitoreo continuo EMAC 1 y 2 tiene origen industrial.
- Se han analizado los niveles sonoros en bandas de tercios de octava en la franja horaria mencionada (1 a. m. a 4 a. m.) a efectos de establecer aquéllas que presentan tonalidad. Luego, se han relacionado dichas bandas con las registradas en los puntos discretos a fin de establecer la equivalencia en puntos cercanos entre sí.

En la segunda etapa se realizaron las siguientes tareas:

- Se han actualizado las potencias acústicas actualizadas de las principales fuentes industriales involucradas.
- A partir de tales valores se ha implementado un modelo matemático para describir el campo sonoro generado por ruido industrial en la zona. Se ha presentado el correspondiente mapa acústico base para condiciones normales de operación de las plantas industriales y en ausencia de viento.
- Se ha verificado el modelo mediante la comparación entre valores de nivel sonoro simulados y medidos en los puntos receptores de medición.
- Se han estudiado distintos escenarios acústicos de interés relacionados con la generación de eventos ruidosos por parte de la fuente Termoeléctrica y la influencia del viento sobre la distribución espacial de los niveles sonoros en la zona.

El modelo computacional desarrollado hace posible la realización de diversos estudios de potencial interés tales como los que se comentan a continuación:

- Estudio de distintas alternativas para la mitigación de presuntas situaciones de molestia (minimización del impacto acústico sobre la población) usando por ejemplo paneles acústicos, barreras forestales, silenciadores, etc.
- Evaluación del impacto acústico contemplando situaciones hipotéticas en las que se plantee la instalación de nuevos emplazamientos industriales.
- Análisis de los espectros de frecuencia de los sonidos emitidos por algunas plantas de interés, funcionando en condiciones normales de operación y ante alguna variación operativa.
- Análisis de los niveles sonoros en diferentes situaciones y momentos del día según el criterio de ruidos molestos establecido en la norma IRAM 4062/01.

## **8. - TRABAJO A FUTURO**

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio, se desprende que podría conveniente efectuar las siguientes tareas a futuro a fin de mejorar la precisión de las predicciones acústicas:

- Caracterizar e incluir los efectos de directividad de las fuentes examinadas. Esto sería necesario dada las discrepancias encontradas en algunas bandas de los niveles sonoros simulados.
- Agregar estaciones de medición adicionales a la planta CARGILL, para actualizar las correspondientes potencias sonoras.
- Relacionar las tonalidades registradas en los puntos receptores con la actividad industrial. Para ello, se debería contar con información pertinente a los regímenes de operación de cada industria (por ejemplo, parada total o parcial de las plantas, cambios en los regímenes de operación, etc.) en el periodo analizado.
- Realizar mediciones bajo distintas condiciones atmosféricas a fin de poder determinar de manera más acabada la influencia de las condiciones meteorológicas presentes en la zona.
- Caracterizar el ruido generado por flujo vehicular en la zona urbana.

## **REFERENCIAS**

- [1] Plan Estratégico de la ciudad de Bahía Blanca. Etapas de Formulación. Municipalidad de Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina, (2000).
- [2] ISO 8297. Acoustics – Determination of Sound Power Levels of Multisource Industrial Plants for Evaluation of Sound Pressure Levels in the Environment, (1994).
- [3] Cortínez VH., Sequeira ME., Azzurro AP., Pons F. y Rey Saravia F. “Desarrollo y calibración de un modelo acústico para una zona residencial-industrial”. III Congreso PROIMCA, (2011).

- [4] Enrique Puliafito, Fernando Rey Saravia, Marcelo Pereyra y Marcia Pagani. “Calidad del aire en el Polo Petroquímico de Bahía Blanca”. II Congreso PROIMCA, (2009).
- [5] Ordenanza Municipal N° 13.032. “Régimen de Ruidos Molestos”. Ciudad de Bahía Blanca. Buenos Aires, Argentina, (2004).
- [6] IRAM 4062. Ruidos molestos al vecindario. Medición y evaluación, (2001).
- [7] Cortínez VH., Sequeira ME., Azzurro AP. “Estudio de impacto acústico ambiental en los alrededores de una planta industrial de Bahía Blanca”. V Congreso PROIMCA y III Congreso PRODECA, (2015).
- [8] ISO 9613-2. Acoustics – Attenuation of Sound During Propagation Outdoors – Part 2: General Method of Calculation, (1996).
- [9] Conservation of clear air and water in Europe (CONCAWE):1981. The Propagation of Noise from Petroleum and Petrochemical Complexes to Neighboring Communities. Report N° 4/81.
- [10] V.H. Cortínez, M.E Sequeira, A.P. Azzurro y C.I. Stoklas . Estudio de Ruido en la Localidad de Ingeniero White (Bahía Blanca), Informe 1, Agosto 2015.
- [11] V.H. Cortínez, M.E Sequeira, A.P. Azzurro y C.I. Stoklas . Estudio de Ruido en la Localidad de Ingeniero White (Bahía Blanca), Informe 2, Diciembre 2015.
- [12] V.H. Cortínez, M.E Sequeira, A.P. Azzurro y C.I. Stoklas . Estudio de Ruido en la Localidad de Ingeniero White (Bahía Blanca), Informe 3, Abril 2016.
- [13] M.E Sequeira, V.H. Cortínez, A.P. Azzurro y C.I. Stoklas . Estudio de Ruido en la Localidad de Ingeniero White (Bahía Blanca), Informe 4, Diciembre 2016.