

**RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA INVERSO PARA LA DETERMINACIÓN DE
POTENCIAS ACÚSTICAS DE FUENTES INDUSTRIALES A PARTIR DE
MEDIDAS DE NIVEL DE PRESIÓN Y DEL MODELO ACÚSTICO DE LA
PLANTA INDUSTRIAL.
PARTE II: APLICACIÓN A UN CASO REAL**

PACS: 43.28.Js

Omella Milián, Ángel Javier; Martínez Gómez, Francisco Javier; Giménez Anaya, Isabel.
Grupo de Vibroacústica de la Universidad de Zaragoza.
C/ María de Luna s/n – Edificio Betancourt. Campus Universitario Río Ebro
50018 Zaragoza.
Tel: 976 762 162. Fax: 976 762 189
E-mail: ajavier@grupovac.org; fjmargo@unizar.es; Isabel@grupovac.org

ABSTRACT

Practical application of the inverse problem for determining the sound power of each sources located in an industrial plant to a controlled operation state from measurements of sound pressure level and acoustic model of the industrial plant.

The technique used for solving the inverse problem is the regularization TSVD.

RESUMEN

Aplicación práctica del problema inverso para la determinación de la potencia acústica de cada una de las fuentes ubicadas en una planta industrial para un estado de funcionamiento controlado a partir de medidas de nivel de presión sonora y del modelo acústico de dicha planta industrial.

La técnica empleada para la resolución del problema inverso es la regularización TSVD.

LA INFORMACIÓN EXTRAÍDA DEL ENTORNO

El ingeniero acústico que trabaja con modelos predictivos basados en datos empíricos debe utilizar el conocimiento de la física para estimar el campo acústico medio existente a partir de observaciones del entorno obtenidas en “campañas de medición”. Analizando así el vínculo entre estas observaciones y los parámetros necesarios para calibrar adecuadamente el modelo. Los parámetros, tras este paso de calibración, deben tener sentido físico para que el modelo sea explicativo y generalizable. Si por el contrario los parámetros carecen de sentido físico, es esperable que el modelo realice malas predicciones en otros estados predictivos.

Willam Menke, profesor de Ciencias de la tierra y el medio ambiente de la Universidad de Columbia expone que un problema inverso es un conjunto de métodos usados para extraer información útil del entorno a partir de medidas físicas o datos. La información útil vendrá especificada como conjuntos de valores numéricos de alguna propiedad de ese entorno, los denominados parámetros del modelo. Se presupone que existe alguna ley, teoría o modelo matemático que relaciona los parámetros del modelo con los datos obtenidos.

El problema inverso contrasta con el directo en el que los datos son determinados a partir de los parámetros y de un modelo. La meta es, por tanto, encontrar un conjunto de parámetros w capaces de predecir las observaciones p'^2 con error mínimo frente a la información útil extraída del entorno p''^2 que a su vez se presuponen cercanas a la realidad p^2 .

Las medidas de nivel de presión sonora, al igual que los resultados del modelo, son abstracciones de la realidad. Por tanto, se debe tener en cuenta que un modelo puede no dar los resultados esperados debido a una campaña de muestreo inadecuada.

CAMPAÑAS DE MEDICIÓN

Con carácter previo a la campaña de medición, la empresa debe facilitar los planos necesarios de la planta objeto de estudio que permitan la inclusión en el software de predicción de ciertos datos relativos a ubicación, orografía, límites de la planta y edificios entre otros. Cuanto mayor y más precisa sea la información facilitada mejor se podrá planificar la primera campaña de medición en la que se deberían revisar in situ aspectos relativos al modelo geométrico.

Los equipos de adquisición en cuanto al nivel de presión sonora utilizados para este trabajo son el sonómetro 2260 Investigator de Bruel&Kjaer y el analizador Synphonie de 01-dB de dos canales conectado mediante PCMCIA a un portátil con transductores GRASS type 40-AF. La adquisición se realiza en tercios de octava con registro en ponderación frecuencial lineal y ponderación temporal fast e impulse. La cadena de medida es verificada mediante calibrador acústico (Clase 1) al comienzo y al final de las tandas de medidas.

Las condiciones meteorológicas se registran mediante la instalación de una estación meteorológica RainWise.Inc TEK3000 en un punto representativo en el interior de la planta industrial. Se realiza, en continuo, el registro de datos referentes a: dirección y velocidad del viento, presión, temperatura y humedad relativa. Se dispone de una pequeña sonda que permite la comparación de condiciones en los distintos puntos de medición. Es importante destacar que la situación de receptores cercanos a fuentes en las que se producen corrientes de aire debe realizarse con cautela puesto que existen puntos en los que los datos obtenidos no son validos debido a estas corrientes de aire, superiores a los 5m/s.

Para determinar la situación de los puntos de recepción se realiza un análisis del entorno y de las fuentes a caracterizar. Se sitúan geoméricamente las fuentes mediante las mediciones pertinentes con metro, cinta métrica o láser; referenciándolas a puntos conocidos extraídos de los planos facilitados. Una vez situadas las fuentes del área bajo estudio, se planifican los puntos en los que se procederá al registro del nivel de presión sonora, anotándolos en el plano y respetando las recomendaciones sobre distancias mínimas.

Las medidas se llevan a cabo tras realizar el montaje decidido (se dispone de diversos trípodes que alcanzan hasta 4,5 metros en altura así como de una pértiga que permite el acceso a puntos complicados) y registrando durante un tiempo representativo. Se anota cualquier variación apreciable del ruido de fondo identificando su causa, se realiza un listado de las fuentes de ruido que se encuentran activas, cuáles de éstas se aprecian como dominantes, esquemas de directividad, etc. Se toman fotografías de los puntos de medición, las fuentes y el entorno para ayudar en los trabajos de modelización y post procesado de medidas.

Una vez realizado el muestreo y el post procesado, se dispone de datos representativos de uno o varios estados de funcionamiento de la planta industrial. Se debe tener en cuenta, a la hora de aplicar el método de resolución del problema inverso, no mezclar datos de diferentes estados de funcionamiento.

CASO PRÁCTICO

El caso práctico expuesto a continuación es un extracto de un proyecto que el Grupo de Vibroacústica de la Universidad de Zaragoza ha realizado en 2011. No se facilitarán datos relativos a la ubicación de la planta industrial, empresa y límites de cumplimiento legal con la finalidad de preservar información sensible del cliente.

La finalidad del caso presentado es la aplicación del método de resolución planteado para la determinación del espectro de potencia sonora a incluir en el modelo a partir de los datos extraídos en las campañas de medición.



Figura 1. Fotos extraídas durante la campaña de medición.

Para la resolución de este estado de funcionamiento en particular, todas las fuentes de ruido de la industria se encuentran centralizadas en un único edificio al que se denominará como edificio principal, si bien existen otras fuentes de ruido, sólo se incluirán para la resolución, las fuentes correspondientes al transportador sinfín situado en el patio interior de la planta y el escape situado en la fachada de un almacén junto al edificio principal. La totalidad de estas fuentes acústicas en funcionamiento conforman el estado de funcionamiento de la planta.

El ruido de fondo es debido esencialmente al tráfico rodado, la situación especial de la planta y su entorno hacen posible que gran parte del registro de datos obtenidos en la campaña de medición no se encuentren significativamente afectados por este ruido de fondo y por tanto, se pueda generar un caso en particular en el que la influencia del ruido de fondo sea despreciable. Es decir, la influencia de fuentes de ruido externas a la planta, no serán consideradas en este caso expuesto.

Una vez construido el modelo geométrico de la planta, situadas las fuentes generadoras de ruido (Véanse las figuras 2 y 3), así como los puntos receptores en los que se han efectuado las medidas procesadas como válidas, se analizan los tipos de fuentes y las medidas en su conjunto para imponer las directividades típicas de radiación en aquellas fuentes que lo requieran. Finalmente, se excita el modelo mediante una potencia L_{Wref} lo suficientemente alta para perturbar a todos los receptores.

Para este caso en particular, se realiza una simplificación que supone considerar que todas las rejillas pertenecientes a cada cara de la fachada (norte, sur, este u oeste) poseen la misma potencia acústica y por tanto todas estas rejillas son consideradas numéricamente como cuatro fuentes equivalentes.



Figura 2. Comparación entre la visión 3D del modelo y realidad. Fachada oeste.

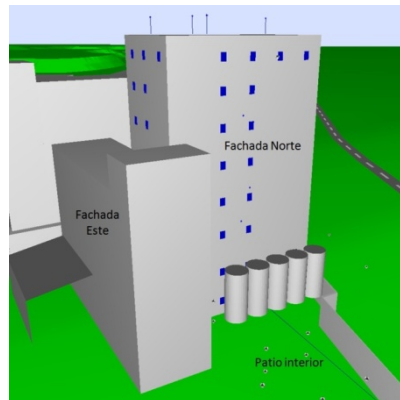


Figura 3. Visión 3D del modelo de la fachada norte y este del edificio

Una vez fijada toda la geometría se lanza el cálculo en los receptores asignando a todas las fuentes los espectros de potencia de referencia $L_{11,1,0}$ (excepto para las rejillas, para las que deberá calcularse la potencia de referencia unitaria correspondiente a cada rejilla).

Se extrae el fichero de texto de aplicaciones parciales de CadnaA y se introduce en la carpeta *imput* junto con el archivo extraído y tratado de los resultados de la campaña de medición para resolver mediante Pythonxy el conjunto de problemas inversos desacoplados. Antes de proceder a la resolución se debe fijar el parámetro de truncamiento adecuado.

Para poner de manifiesto la importancia de selección adecuada del parámetro de truncamiento y su influencia en la solución, se muestran en la Figura 4 distintas soluciones de potencia sonora expresadas en dB obtenidas para cuatro fuentes en función del número de valores singulares escogidos en la resolución de cada problema inverso desacoplado en frecuencia.

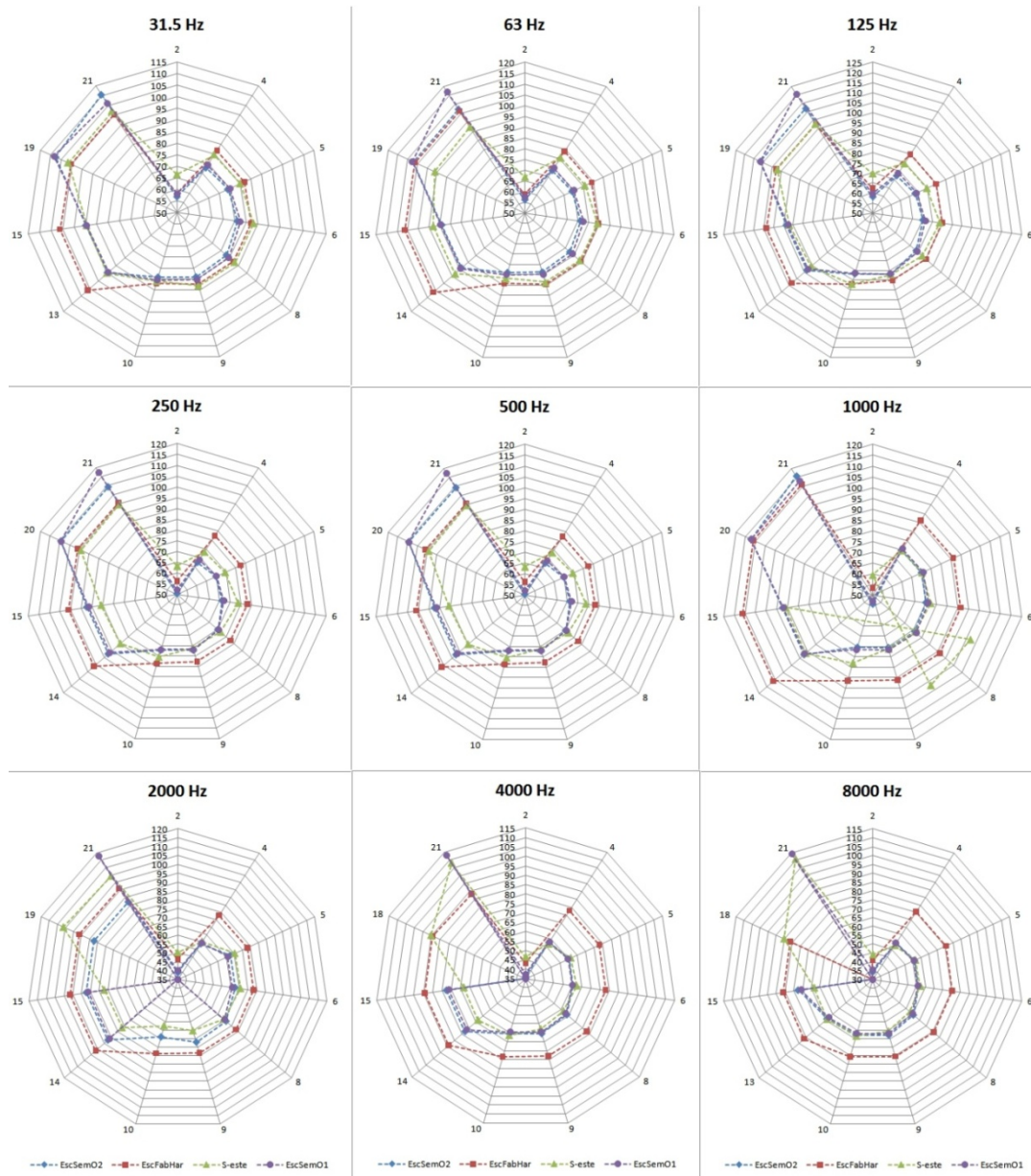


Figura 4. Cambio en la solución según el número de valores singulares implicados

El parámetro de truncamiento es fijado para este caso en particular en 0.02, lo que impone el uso de 13 o 14 valores singulares dependiendo de la frecuencia a resolver, esto se puede apreciar en las gráficas expuestas en la Figura 5 en la que se destacan en verde los valores singulares utilizados en la resolución de cada problema inverso desacoplado.

Tras ejecutar el programa en Pythonxy se obtienen los ficheros con las soluciones del espectro de potencia de las 21 fuentes a resolver (para el caso de las rejillas se debe deshacer el reparto de la equivalencia impuesta calculando la potencia que corresponde a cada rejilla individual).

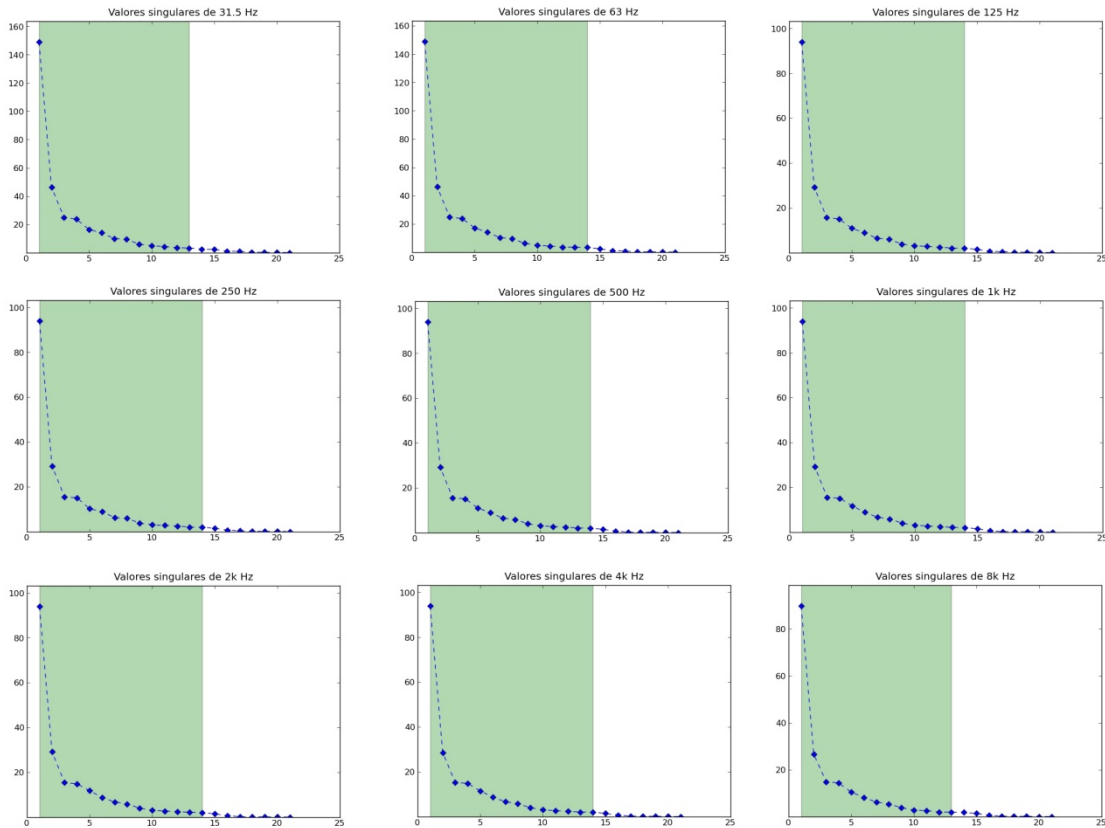
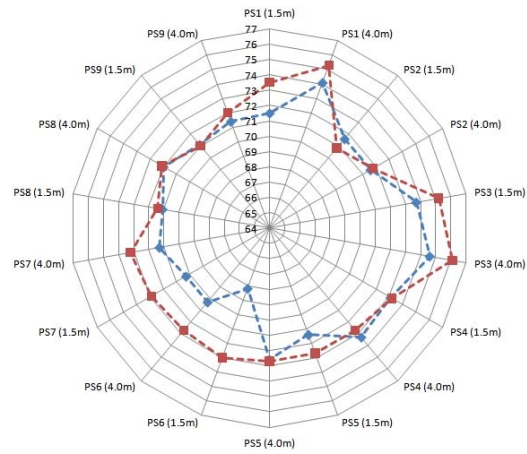
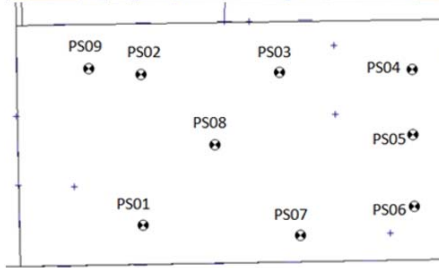
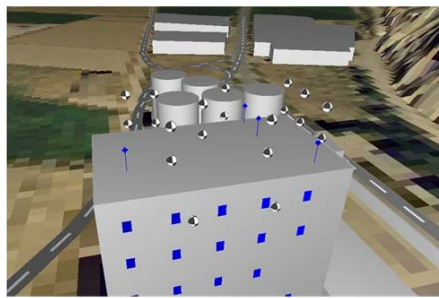


Figura 5. Valores singulares escogidos para la determinación de la solución.

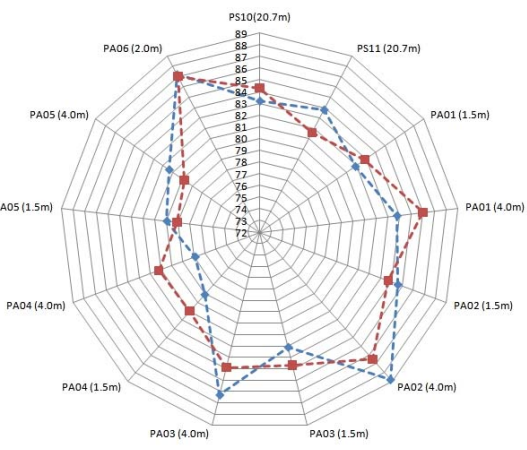
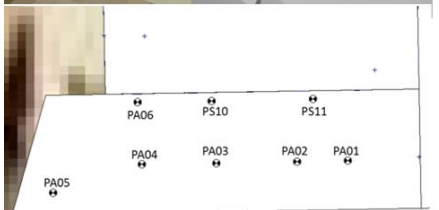
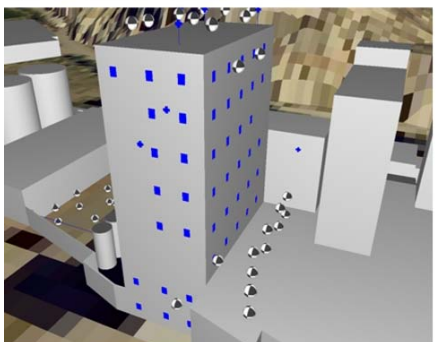
Finalmente se introducen en CadnaA las potencias solución para resolver el problema directo y se comparan los resultados de nivel de potencia sonora global calculado y medido en cada punto receptor como se expone en la Figura 6.

Quedan así todos los parámetros del modelo fijados siendo posible realizar los cálculos y visualizaciones que requiera cada proyecto en particular, como por ejemplo la generación de mapas de ruido, cálculo de niveles en fachada o detección de focos acústicos sobre los que actuar entre otros.

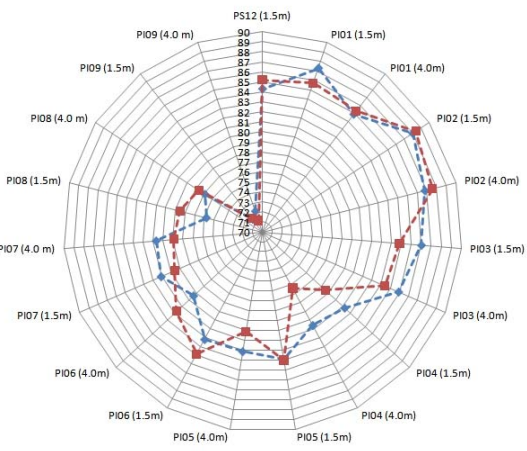
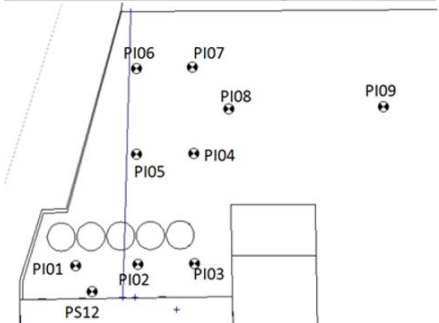
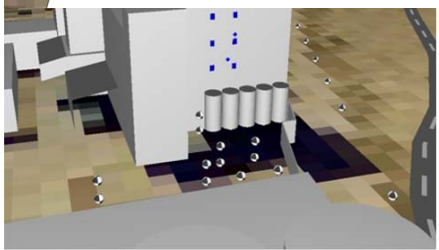
El modelo base del estado en particular conseguido deberá completarse mediante la inclusión de otras fuentes solución de la resolución de otros estados. Finalmente, el modelo completo conseguido será el punto de partida de otros cálculos y estudios posteriores.



Receptores en la azotea de la industria
— Medida (dBA) — Cálculo (dBA)



Receptores en azotea de almacén
— Medida (dBA) — Cálculo (dBA)



Receptores en patio interior
— Medida (dBA) — Cálculo (dBA)

Figura 6. Niveles de presión sonora globales [dBA] medidos y calculados.

CONCLUSIONES

Es importante poseer tanto de la información necesaria para obtener un modelo geométrico detallado y físicamente representativo, como de unos datos, extraídos de las campañas de medición, representativos del estado de funcionamiento de la planta industrial objeto de estudio.

A la hora de la planificación de la campaña de medición hay que buscar el número de medidas óptimo según el número de fuentes a determinar, así como la posición de las mismas. Es decir, la matriz de transferencia debe poseer mayor número de filas que de columnas.

Conviene realizar un análisis, resolviendo el problema directo, de las soluciones obtenidas para identificar aquella solución que se ajusta mejor a los datos medidos de niveles de presión sonora.

La técnica de regularización TSVD es una herramienta útil que surge a partir de la necesidad del Grupo de Vibroacústica de la Universidad de Zaragoza de optimizar el proceso de modelización acústica.

REFERENCIAS

- [1] K. Attenborough; K. Ming Li; K. Horoshenkov: *Predicting Outdoor Sound*, Taylor & Francis, New York, 2007.
- [2] W. Menke. Professor of Earth and Environmental Sciences:
<http://www.ldeo.columbia.edu/users/menke/>
- [3] Menke, W. *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*, Revised Edition, Academic Press, Inc., New York, 1989.
- [4] UNE-ISO 1996-2. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental.
- [5] Serie UNE-EN ISO 3740.
- [6] ISO 8297: 1994. Determination of sound power levels of multisource industrial plants for evaluation of sound pressure levels in the environment. Engineering method.
- [7] UNE-EN ISO 12001: 1997. Ruido emitido por máquinas y equipos. Reglas para la preparación y presentación de un código de ensayo de ruido.
- [8] Ley 7/2010, de protección contra la contaminación acústica de Aragón.