

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

**Atenuación del ruido con rejillas acústicas.
Optimización y análisis de sensibilidad con
Ansys.**

Autor: Pablo Ríos Garrido

Tutor: Pedro Flores Domínguez-Rodiño

Dept. de Ingeniería Mecánica y Fabricación
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla



Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

**Atenuación del ruido con rejillas acústicas.
Optimización y análisis de sensibilidad con
Ansys.**

Autor:
Pablo Ríos Garrido

Tutor:
Pedro Flores Domínguez-Rodiño
Profesor adjunto

Dept. de Ingeniería Mecánica y Fabricación.
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2015

Proyecto Fin de Carrera: Atenuación del ruido con rejillas acústicas. Optimización y análisis de sensibilidad con Ansys.

Autor: Pablo Ríos Garrido
Tutor: Pedro Flores Domínguez-Rodiño

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2015

El Secretario del Tribunal

A mis padres.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor, profesor D. Pedro Flores Domínguez-Rodiño, por la eficaz dirección de este trabajo y por todo el apoyo brindado durante todo este tiempo.

Quisiera tener un reconocimiento de gratitud especial a D. David Pérez Barber, por su desinteresada colaboración, enorme paciencia e inestimable ayuda en la realización de este trabajo, sobre todo por sus prácticos consejos en el diseño y elaboración de los modelos informáticos.

Además, me gustaría dar las gracias a los profesores de los Departamentos de Mecánica y de Elasticidad y Resistencia de Materiales, en especial a D^a. Juana Mayo y D. Alberto Barroso, que a pesar de no haber contribuido de forma directa con este trabajo, siempre estuvieron dispuestos a ayudarme en tutorías cuando me surgió cualquier duda.

Por último, deseo agradecer a mis padres, a María Eugenia y a mis amigos, por el constante apoyo emocional que me han dado, sobre todo en los momentos de debilidad.

RESUMEN

La contaminación acústica se ha convertido en uno de los principales problemas de salud de la sociedad actual. Una de las formas para reducir el sonido es mediante el uso de rejillas acústicas.

El presente proyecto tiene como objetivo fundamental estudiar la influencia de distintos parámetros, geométricos y relacionados con las propiedades del fluido, en la atenuación sonora de 5 tipos de rejillas acústicas (similares a rejillas comerciales).

En la primera parte del trabajo se ha desarrollado un código de Ansys que permita el modelado de las rejillas. Para ello, es muy importante parametrizar previamente las variables del problema con el fin de facilitar su posterior análisis.

En la segunda parte se ha realizado el análisis de sensibilidad, es decir, ver la influencia de distintos parámetros en la atenuación del ruido de la rejilla. El paso de aire entre baffles, el espesor de la placa de acero perforada, el diámetro de las perforaciones, la superficie de paso de la placa, el tipo de fluido que atraviesa la rejilla, la temperatura o la velocidad de entrada del mismo han sido los principales parámetros analizados.

Por último, se ha comprobado la influencia de todos los parámetros anteriores en la atenuación ante distintos ruidos (ruido rosa, ruido de un transformador, ruido de una bomba centrífuga y ruido de un compresor) con el objetivo de encontrar la rejilla más apropiada para cada tipo de ruido.

ABSTRACT

Noise pollution is one of the main problems that affects us nowadays. Due to this problem, many people are becoming deaf. In this sense, acoustic gratings are one way to reduce noise.

The aim of this project is to analyse the influence of some parameters, related with geometry and fluid's properties, in noise reduction of 5 kind of acoustic gratings (similar to commercial ones).

In the first part of the project, an Ansys code, which allows gratings modelling, has been developed. It is essential to keep in mind to parameterise every problem variable, in order to ease the following steps.

The second part consists on a sensitivity analysis. In other words, we want to study the influence in noise reduction of the different acoustic grating parameters. Distance between baffles, steel sheet thickness, holes diameters, sheet free passage surface, kind of fluid, fluid temperature or fluid inlet velocity have been the main analysed parameters.

Finally, it has been verified the influence of the previous parameters in noise reduction of different kind of sounds, such as pink noise, transformer noise, centrifugal pump noise and compressor noise. A recommendation about the more suitable acoustic grating for each case has also been made.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	25
1.1. MARCO LEGISLATIVO.....	26
1.2. SISTEMAS DE CONTROL DEL RUIDO	27
1.2.1. PANTALLAS O BARRERAS ACÚSTICAS	27
1.2.2. CERRAMIENTOS ACÚSTICOS.....	29
1.2.3. SILENCIADORES	30
1.2.3.1. SILENCIADORES REACTIVOS	31
1.2.3.2. SILENCIADORES DISIPATIVOS	31
1.2.4. REJILLAS ACÚSTICAS	32
1.3. PROPAGACIÓN DE ONDAS SONORAS.....	34
1.3.1. TIPOS DE ONDAS	35
1.3.2. ECUACIÓN DE ONDAS	36
2. OBJETIVOS. ALCANCE DEL PROYECTO	39
3. METODOLOGÍA	41
3.1. PROGRAMAS INFORMÁTICOS.....	41
3.1.1. ANSYS.....	41
3.1.2. MATLAB.....	41
3.1.3. EXCEL.....	42
3.1.4. FLUENT	42
3.2. PLACAS DE ACERO PERFORADAS	42
3.3. PREPROCESADO: GEOMETRÍA Y MALLADO.	43
3.3.1. ELECCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA GEOMETRÍA.....	48
3.4. PROCESADO: RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA	50
3.5. POST-PROCESADO: OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS.....	50
3.6. MANIPULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	51
3.7. CÁLCULO DEL RUIDO REGENERADO.....	59
4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES	65
4.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS 5 MODELOS DE REJILLAS	65
4.2. VARIACIÓN DEL PASO DE AIRE ENTRE BAFLES	70
4.3. VARIACIÓN DEL ESPESOR DE LA PLACA PERFORADA.....	83
4.4. VARIACIÓN DEL DIÁMETRO DE LAS PERFORACIONES	94
4.5. VARIACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PASO DE LA PLACA.....	107

4.6.	VARIACIÓN DEL FLUIDO QUE PASA POR LA REJILLA.....	118
4.7.	VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL FLUIDO	128
4.8.	VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL FLUIDO	139
5.	CONCLUSIONES	149
6.	REFERENCIAS	154

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: TL según profundidad rejilla 1	49
Gráfica 2: TL en bandas de octava según profundidad rejilla 1	49
Gráfica 3: TL sin placa.....	65
Gráfica 4: TL en tercios de octava sin placa.....	66
Gráfica 5: TL con placa	67
Gráfica 6: TL en tercios de octava con placa	68
Gráfica 7: TL según paso de aire rejilla 1.....	70
Gráfica 8: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 1.....	71
Gráfica 9: TL según paso de aire rejilla 2.....	73
Gráfica 10: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 2.....	73
Gráfica 11: TL según paso de aire rejilla 3.....	75
Gráfica 12: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 3.....	76
Gráfica 13: TL según paso de aire rejilla 4.....	78
Gráfica 14: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 4.....	78
Gráfica 15: TL según paso de aire rejilla 5.....	80
Gráfica 16: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 5.....	81
Gráfica 17: TL según espesor de la placa rejilla 1.....	83
Gráfica 18: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 1	84
Gráfica 19: TL según espesor placa rejilla 2	85
Gráfica 20: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 2	86
Gráfica 21: TL según espesor placa rejilla 3	87
Gráfica 22: TL en tercios de octava según espesor rejilla 3.....	88
Gráfica 23: TL según espesor placa rejilla 4	89
Gráfica 24: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 4	90
Gráfica 25: TL según espesor placa rejilla 5	91
Gráfica 26: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 5	92
Gráfica 27: TL según diámetro perforaciones rejilla 1.....	94
Gráfica 28: TL según tipo perforación rejilla 1	95
Gráfica 29: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 1.....	95
Gráfica 30: TL según diámetro perforaciones rejilla 2.....	97
Gráfica 31: TL según tipo perforación rejilla 2	97

Gráfica 32: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 2.....	98
Gráfica 33: TL según diámetro perforaciones rejilla 3.....	99
Gráfica 34: TL según tipo perforación rejilla 3	100
Gráfica 35: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 3.....	100
Gráfica 36: TL según diámetro perforaciones rejilla 4.....	102
Gráfica 37: TL según tipo perforación rejilla 4	102
Gráfica 38: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 4.....	103
Gráfica 39: TL según diámetro perforaciones rejilla 5.....	104
Gráfica 40: TL según tipo perforación rejilla 5	105
Gráfica 41: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 5.....	105
Gráfica 42: TL según superficie de paso de la placa rejilla 1.....	107
Gráfica 43: TL en tercios de octava según superficie de paso de la placa rejilla 1	108
Gráfica 44: TL según superficie de paso de la placa rejilla 2.....	109
Gráfica 45: TL en tercios de octava según superficie de paso de la placa rejilla 2.....	110
Gráfica 46: TL según superficie de paso de la placa rejilla 3.....	111
Gráfica 47: TL en tercios de octava según la superficie de paso de la placa rejilla 3.....	112
Gráfica 48: TL según superficie de paso de la placa rejilla 4.....	113
Gráfica 49: TL en tercios de octava según la superficie de paso de la placa rejilla 4.....	114
Gráfica 50: TL según superficie de paso de la placa rejilla 5.....	115
Gráfica 51: TL en tercios de octava según superficie de paso de la placa rejilla 5.....	116
Gráfica 52: TL según tipo de fluido rejilla 1	118
Gráfica 53: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 1	119
Gráfica 54: TL según tipo de fluido rejilla 2	120
Gráfica 55: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 2	120
Gráfica 56: TL según tipo de fluido rejilla 3	122
Gráfica 57: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 3	122
Gráfica 58: TL según tipo de fluido rejilla 4	124
Gráfica 59: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 4	124
Gráfica 60: TL según tipo de fluido rejilla 5	126
Gráfica 61: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 5	126
Gráfica 62: TL según temperatura del fluido rejilla 1	128
Gráfica 63: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 1	129
Gráfica 64: TL según temperatura del fluido rejilla 2.....	130
Gráfica 65: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 2.....	131

Gráfica 66: TL según temperatura del fluido rejilla 3	132
Gráfica 67: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 3	133
Gráfica 68: TL según temperatura del fluido rejilla 4	134
Gráfica 69: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 4	135
Gráfica 70: TL según temperatura del fluido rejilla 5	136
Gráfica 71: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 5	137
Gráfica 72: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 1	139
Gráfica 73: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 1	140
Gráfica 74: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 1	140
Gráfica 75: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 1	140
Gráfica 76: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 1	141
Gráfica 77: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 2	141
Gráfica 78: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 2	141
Gráfica 79: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 2	142
Gráfica 80: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 2	142
Gráfica 81: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 2	142
Gráfica 82: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 3	143
Gráfica 83: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 3	143
Gráfica 84: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 3	143
Gráfica 85: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 3	144
Gráfica 86: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 3	144
Gráfica 87: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 4	144
Gráfica 88: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 4	145
Gráfica 89: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 4	145
Gráfica 90: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 4	145
Gráfica 91: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 4	146
Gráfica 92: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 5	146
Gráfica 93: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 5	146
Gráfica 94: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 5	147
Gráfica 95: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 5	147
Gráfica 96: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 5	147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ruido de un transformador.....	58
Tabla 2: Ruido de una bomba centrífuga.....	58
Tabla 3: Ruido de un compresor.....	59
Tabla 4: Atenuación ruidos sin placa.....	67
Tabla 5: Atenuación ruidos con placa	69
Tabla 6: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 1	72
Tabla 7: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 2.....	75
Tabla 8: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 3.....	77
Tabla 9: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 4.....	80
Tabla 10: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 5.....	82
Tabla 11: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 1	85
Tabla 12: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 2	87
Tabla 13: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 3	89
Tabla 14: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 4	91
Tabla 15: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 5	93
Tabla 16: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 1.....	96
Tabla 17: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 2.....	99
Tabla 18: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 3.....	101
Tabla 19: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 4.....	104
Tabla 20: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 5.....	106
Tabla 21: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 1.....	109
Tabla 22: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 2.....	111
Tabla 23: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 3.....	113
Tabla 24: Atenuación ruidos según la superficie de paso de la placa rejilla 4.....	115
Tabla 25: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 5.....	117
Tabla 26: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 1	119
Tabla 27: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 2	121
Tabla 28: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 3	123
Tabla 29: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 4	125
Tabla 30: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 5	127
Tabla 31: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 1	130
Tabla 32: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 2.....	132

Tabla 33: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 3	134
Tabla 34: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 4	136
Tabla 35: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 5	138
Tabla 36: Máximos valores del ruido regenerado en cada rejilla.....	148
Tabla 37: Ruido regenerado que sale de cada rejilla	148

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Esquema de una pantalla acústica	28
Ilustración 2: Ejemplo de pantalla acústica	29
Ilustración 3: Ejemplo de cerramiento acústico.....	30
Ilustración 4: Silenciador reactivo	31
Ilustración 5: Silenciadores disipativos	32
Ilustración 6: Rejillas tipo 1 y 2	33
Ilustración 7: Rejillas tipo 3 y 4.....	34
Ilustración 8: Rejilla tipo 5.....	34
Ilustración 9: Onda longitudinal	35
Ilustración 10: Onda transversal	35
Ilustración 11: Placas de acero perforadas.....	42
Ilustración 12: Parámetros placa perforada	43
Ilustración 13: Modelo rejilla tipo 1 en Ansys	45
Ilustración 14: Ejemplo de geometría mallada.....	47
Ilustración 15: Definición de los "port"	48
Ilustración 16: Manipulación datos 1.....	57
Ilustración 17: Manipulación datos 2.....	57
Ilustración 18: Manipulación datos 3.....	57
Ilustración 19: Cálculo de ruido regenerado 1	60
Ilustración 20: Cálculo del ruido regenerado 2.....	60
Ilustración 21: Cálculo del ruido regenerado 3.....	61
Ilustración 22: Cálculo del ruido regenerado 4.....	61
Ilustración 23: Cálculo del ruido regenerado 5.....	62
Ilustración 24: Cálculo del ruido regenerado 6.....	62
Ilustración 25: Cálculo del ruido regenerado 7.....	63

1. INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que al menos 120 millones de personas en el mundo tienen problemas auditivos, consecuencia del excesivo ruido al que están sometidos. Afirma también que un 76% de la población de los centros urbanos sufre un impacto acústico muy superior al recomendado. Este aspecto se refleja en su calidad de vida y se manifiesta como estrés, insomnio, depresión, agresividad, taquicardia o falta de apetito.

En este contexto surge la preocupación social por los altos niveles acústicos, que hoy en día son generados por infinidad de focos de ruido: industrias, máquinas, aviones, automóviles, ferrocarriles... Actualmente existe una legislación de protección contra la contaminación acústica a tres escalas: autonómica, nacional y europea. Dicha legislación tiene como objetivo controlar el ruido que se produce en edificios, instalaciones, actividades, obras y servicios. Para ello, establece los niveles de ruido máximos con el fin de reducir y prevenir la contaminación acústica, y de esta forma disminuir posibles problemas de salud y cuidar el medio ambiente.

Se han desarrollado numerosos estudios de investigación relacionados con la contaminación acústica y los mecanismos para reducirla lo máximo posible. En este sentido, los avances han sido muy importantes y se ha producido un gran desarrollo en los últimos años, ya que la legislación cada vez es más restrictiva en cuanto a nivel de ruido permitido se refiere. De este modo, se han implementado diferentes mecanismos para la reducción acústica: silenciadores, pantallas acústicas, paredes dobles, cerramientos, rejillas acústicas... Estas últimas serán el objeto de este trabajo. Las rejillas o rendijas acústicas son tomas de aire de profundidad reducida cuya función es la de eliminar parcialmente el ruido a la salida de conductos de ventilación. Están pensadas para todos aquellos casos en los que la entrada y salida de aire es una fuente de ruido y, por las características de la maquinaria de ventilación, es necesaria una pequeña oposición al paso de aire. También se utilizan en aquellas ocasiones en las que el uso de silenciadores no es adecuado, bien por razones técnicas o estéticas.

Hoy en día, el diseño de rejillas acústicas sigue una metodología que se basa en la técnica de prueba y error. En muchos casos, esto suele estar guiado por la propia experiencia de los operarios. Sin embargo, esta forma de proceder en la que se fabrica y se comprueba si tiene un comportamiento esperado, no es la más apropiada.

Cada vez son más frecuentes los modelos de rejillas diseñados con programas informáticos, los cuales calculan una estimación de la curva de atenuación sin necesidad de construirla. Esto supone un fuerte ahorro tanto de dinero como de tiempo.

1.1. MARCO LEGISLATIVO

En la actualidad existe una legislación autonómica, nacional y europea que regula la contaminación acústica. A continuación, se detallan las principales leyes/decretos/programas reguladores:

- Decreto 6/2012, de 17 de enero, por el que se aprueba el Reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía (BOJA número 24 de 06/02/2012). En el ámbito local, el artículo 9.12 de la Ley 5/2010, de 11 de junio, de Autonomía Local de Andalucía, recoge las competencias municipales en materia de contaminación acústica.
- Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental.
- Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas. (BOE número 254 de 23/10/2007).
- REAL DECRETO 286/2006, de 10 de marzo, sobre la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores contra los riesgos relacionados con la exposición al ruido (BOE número 60 de 11/03/2006).
- Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de junio de 2002, sobre evaluación y gestión del ruido ambiental.

1.2. SISTEMAS DE CONTROL DEL RUIDO

Calcular el aislamiento acústico es el análisis más difícil y complejo debido al gran número de variables que intervienen en la determinación del aislamiento de una superficie sometida a ondas de presión. Dicha superficie vibra al recibir las ondas y emite otras ondas sonoras con una energía menor a las anteriores. Conocer la reducción de energía en este último proceso de radiación es la base del aislamiento acústico.

El control del ruido es un problema de difícil solución. Todo problema de control acústico debe ser abordado en primer lugar en la fuente, posteriormente en el medio de transmisión, y por último en el receptor.

El primer paso consistirá en un completo análisis de la fuente sonora, estudiando la forma en que se produce la energía acústica, el por qué y su evolución temporal. Siempre que sea posible habrá que actuar sobre el foco de ruido, ya que en la mayoría de ocasiones podría solucionar el problema que tengamos en un principio.

Si esto no fuera posible, el siguiente paso será analizar el medio de transmisión. Los medios pueden ser múltiples y muy distintos (sólido, líquido y/o gaseoso), lo cuales tendrán propiedades muy diferentes.

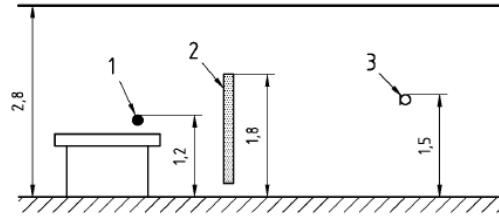
Por último, habrá que estudiar el receptor, que al fin y al cabo el problema depende de lo que se pretenda conseguir en dicho receptor.

En el análisis del control del ruido se han de conocer todas las circunstancias existentes, para que se puedan proponer las soluciones adecuadas. Es evidente que realizar el análisis del control del ruido durante el diseño de la instalación será la forma más útil, factible y sobre todo económica.

A continuación se explican brevemente los sistemas más importantes de reducción del ruido utilizados en la actualidad.

1.2.1. PANTALLAS O BARRERAS ACÚSTICAS

Las pantallas acústicas constituyen uno de los sistemas básicos del control de ruido. Son pantallas o barreras que se interponen entre el foco de ruido y el receptor.



- Legenda**
- 1 fuente sonora
 - 2 pantalla
 - 3 receptor (microfono)

Ilustración 1: Esquema de una pantalla acústica

Este sistema de control de ruido es muy utilizado y sus dos aplicaciones principales son el control del ruido de equipos y el del tráfico urbano. Su misión principal es evitar que las ondas directas afecten al receptor, de ahí que deban utilizarse en lugares poco reverberantes, es decir, que el sonido directo sea el más importante. Por ello, su uso no es recomendable dentro de naves industriales o talleres, ya que la componente reflejada será predominante sobre la directa en estos casos. En estas ocasiones se deberán usar otros métodos de control que se comentarán posteriormente.

La atenuación que produce una pantalla acústica depende de cinco parámetros fundamentales: las dimensiones de la pantalla, la distancia emisor-receptor, el espectro sonoro del ruido, el material de construcción de la barrera y las características acústicas del lugar donde se instale.

Es importante decir que las pantallas acústicas proporcionan mayor atenuación a medida que aumenta la frecuencia. En general, aportan una atenuación sonora ponderada de hasta 10-15 dB.



Ilustración 2: Ejemplo de pantalla acústica

1.2.2. CERRAMIENTOS ACÚSTICOS

La instalación de cerramientos acústicos es el método más efectivo para evitar la propagación del ruido. La finalidad de los cerramientos acústicos es la creación de un recinto cerrado que aisle totalmente a un foco de ruido del exterior. Se consigue reducir el sonido hasta unos 30 dB.

Los cerramientos están constituidos por materiales con gran amortiguación sonora: paneles acústicos, silenciadores para la renovación de aire, puertas acústicas para el acceso de personas, registros acústicos... Son utilizados cuando el aislamiento de las pantallas acústicas es insuficiente, debido normalmente a la ubicación del foco de ruido con respecto a los receptores y a la intensidad de éste. No obstante, siempre antes de la ejecución de cualquier trabajo se procede a la realización de un estudio con una simulación de ruido del escenario a tratar, para saber exactamente las necesidades de aislamiento en cada caso.

Para edificación las aplicaciones más comunes de los cerramientos acústicos son en instalaciones de climatización, máquinas de extracción y grupos electrógenos. En industria cada línea de producción o cada maquinaria puede tener características completamente diferentes, por lo tanto a la hora de diseñar un cerramiento acústico hay que hacer una evaluación completa de la zona que queremos aislar. Siempre teniendo en cuenta que las medidas correctoras a aplicar han de garantizar el correcto funcionamiento de la maquinaria, buen acceso para el mantenimiento y la ventilación

adecuada del nuevo recinto para evitar el sobrecalentamiento del recinto y de la propia maquinaria. Además se debe de tener en cuenta las condiciones del cerramiento para que no afecten de forma negativa al trabajo del operario.



Ilustración 3: Ejemplo de cerramiento acústico

1.2.3. SILENCIADORES

Filtros acústicos que se introducen en conductos que transportan fluidos, en escapes de fluidos o en admisión a equipos que transportan fluidos. Su objetivo es reducir los niveles de potencia sonora generados. Su uso está muy extendido en la industria, vehículos, motores de combustión, bombas, ventiladores, etc.

Se clasifican en base a su modo de operar en activos y pasivos (reactivos y disipativos). Los primeros son realimentados y añaden energía al sistema, por lo que pueden generar aún más ruido. Los pasivos son más utilizados y la atenuación del sonido la realizan mediante la reflexión de las ondas acústicas (silenciador reactivo) o bien mediante su absorción por un material absorbente (silenciador disipativo). Un mismo silenciador pasivo puede actuar de ambas formas. Las rejillas, objeto de este trabajo, son un tipo de silenciador pasivo disipativo.

Los silenciadores presentan las siguientes características:

- **ATENUACIÓN ACÚSTICA:** diferencia de nivel de presión sonora entre un punto al inicio del silenciador y otro a la salida del mismo (IL).
- **RUIDO REGENERADO:** como consecuencia del flujo a través del propio silenciador se genera un ruido, independiente de la fuente ruidosa, que hay que tener en consideración (SN).

- **PÉRDIDA DE CARGA:** debido a las interrupciones en el paso libre del fluido y al incremento de velocidad de paso los silenciadores provocan un pérdida de carga ($\Delta p = K \cdot v^2$).
- **UBICACIÓN DEL SILENCIADOR:** se debe prestar una especial atención a la colocación del/los silenciadores respecto al foco ruidoso a los efectos de evitar el mal funcionamiento del conjunto.

1.2.3.1. SILENCIADORES REACTIVOS

El principio de funcionamiento es la reflexión de las ondas acústicas que sucede cuando éstas llegan a una discontinuidad donde la impedancia acústica es más alta o más baja que la impedancia característica del conducto. En consecuencia, una parte de la energía vuelve en dirección a la fuente y la otra atraviesa la discontinuidad.

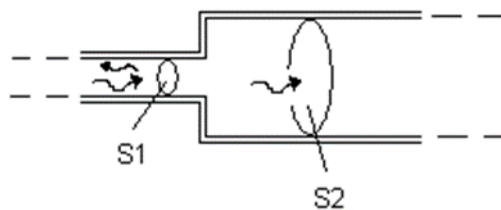


Ilustración 4: Silenciador reactivo

Este tipo de silenciadores son efectivos cuando el espectro del sonido predomina a bajas frecuencias o cuando deben reducirse tonos puros a frecuencias fijas. También se aconseja su uso cuando el fluido está sucio, caliente o tiene una velocidad muy alta. Entre sus ventajas podemos citar el costo de fabricación y su mínimo mantenimiento; sin embargo, su principal inconveniente es la complejidad de su diseño.

1.2.3.2. SILENCIADORES DISIPATIVOS

Este tipo de silenciadores, llamados también resistivos, se utilizan para el control de ruido de media y alta frecuencia. El principio de funcionamiento es la absorción de la energía acústica y su transformación en energía calorífica.

En su fabricación se emplean cámaras y conductos revestidos por materiales absorbentes como la lana de roca. La atenuación del sonido que se consigue

dependerá de la cantidad y del coeficiente de absorción del material utilizado. El ruido regenerado (ruido producido por el rozamiento del fluido con las superficies absorbentes) limitará la atenuación.

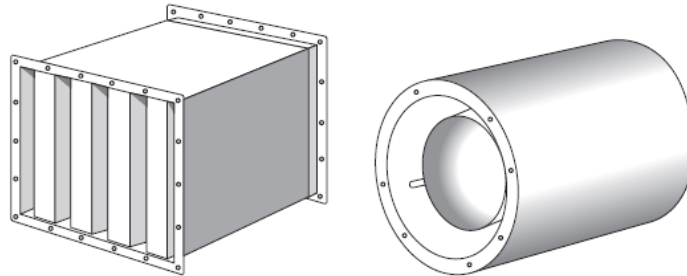


Ilustración 5: Silenciadores disipativos

En la actualidad se utilizan con frecuencia silenciadores en serie: uno reactivo y otro disipativo, para conseguir atenuar el ruido en todo el espectro de frecuencias.

Los silenciadores disipativos pueden adoptar diferentes formas, tales como:

- Conductos revestidos
- Codos revestidos
- Cilíndricos y rectangulares
- Cámaras de expansión revestidas
- Cámaras *Plenum*
- Rejillas acústicas

A continuación se describen con mayor detalle las rejillas acústicas, ya que son el objetivo de este proyecto.

1.2.4. REJILLAS ACÚSTICAS

Como ya se ha comentado previamente, las rejillas (o rendijas) acústicas son un tipo de silenciador pasivo disipativo. Tanto a nivel estético, de dimensiones como funcional, ofrecen una alternativa viable en muchas ocasiones en las que los requisitos de control del ruido son moderados. Son usadas normalmente en salidas de aire acondicionado y ventilación de fachadas, salas de transformadores y compresores, cuartos de máquinas de ascensores, grupos generadores, etc. donde es necesario atenuar el ruido generado por los sistemas. Con mucha menor profundidad de diseño que los silenciadores (de

150mm a 600mm) consiguen excelentes resultados de atenuación acústica, a la vez que sirven de sistemas de protección a las condiciones atmosféricas y de seguridad.

El rendimiento acústico de una rejilla se mide en *pérdidas de TL* (Transmission Loss), lo que posibilita la comparación directa entre su rendimiento y el de la pared a la que probablemente sustituya.

La construcción, en chapa de acero galvanizado de espesor medio, está formada por una estructura de sustentación donde se incluyen los elementos absorbentes formando una serie de lamas aerodinámicas para permitir el flujo de aire y atenuar el sonido. Dichas lamas están formadas por chapa de acero galvanizado en su cara exterior, relleno de fibras absorbentes de diferentes densidades y finalmente recubiertas por un velo protector. El acabado interior es en chapa perforada para evitar el desgaste del material absorbente producido por la exposición al medio.

En el presente trabajo se utilizarán para su optimización 5 tipos de rejillas acústicas, que se adaptan aproximadamente a los principales modelos comerciales existentes en el mercado.

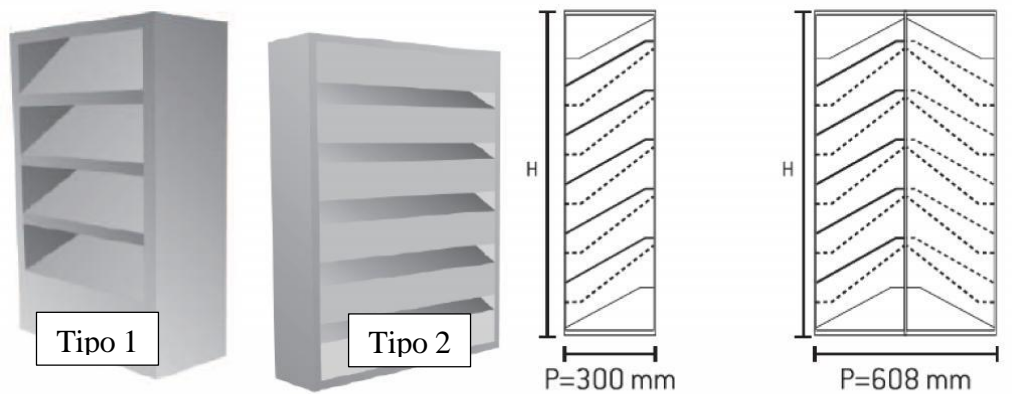


Ilustración 6: Rejillas tipo 1 y 2

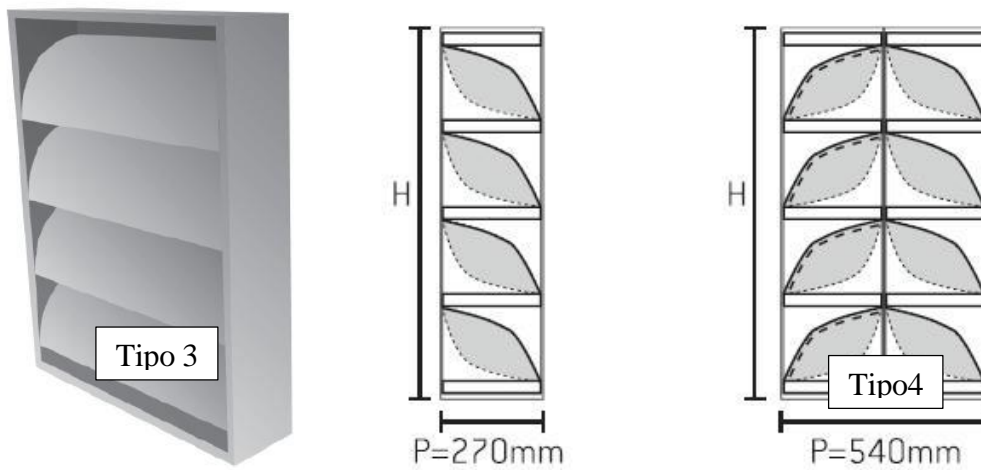


Ilustración 7: Rejillas tipo 3 y 4

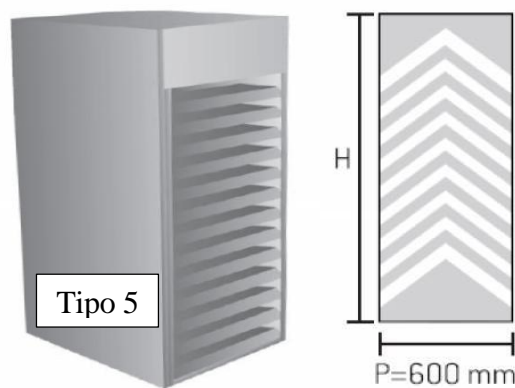


Ilustración 8: Rejilla tipo 5

1.3. PROPAGACIÓN DE ONDAS SONORAS

Cualquier perturbación producida en un medio homogéneo se transmite a través de éste. Esta perturbación se conoce como movimiento ondulatorio.

Se puede definir el movimiento ondulatorio como la propagación de movimiento o de energía a través de un medio, sin propagación asociada de materia. El movimiento se transmite por las partículas del cuerpo, las cuales vibran y obligan a vibrar a las próximas. Por tanto, la propagación de ondas depende del medio en el cual se propaguen, existiendo grandes diferencias entre la propagación a través de un sólido o de un fluido (líquido o gaseoso).

1.3.1. TIPOS DE ONDAS

Según la relación entre la dirección de propagación y la de vibración, se pueden clasificar las ondas en:

- **ONDAS LONGITUDINALES:** la dirección de vibración de las partículas coincide con la dirección de propagación. En ellas, los cambios en la tensión transversal del fluido son suficientemente pequeñas y pueden ser despreciados.



Ilustración 9: Onda longitudinal

Hay tres tipos de ondas longitudinales: **planas**, en las que todos los puntos tienen la misma presión sonora y la misma velocidad de partícula (figura anterior); **esféricas**, en las que las ondas se propagan radialmente a su foco de emisión; y **cilíndricas**; la onda se propaga con geometría cilíndrica.

Este tipo de ondas serán las estudiadas en este trabajo al analizar la atenuación acústica

- **ONDAS TRANSVERSALES:** la dirección del movimiento es perpendicular a la dirección de propagación. En este caso toman importancia los cambios de la tensión tangencial, además de los de la tensión normal.

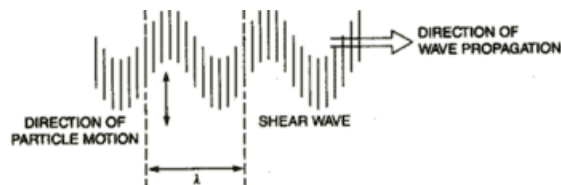


Ilustración 10: Onda transversal

1.3.2. ECUACIÓN DE ONDAS

En este apartado se tratará de explicar el origen de las ecuaciones que posteriormente utilizará el programa informático Ansys para el cálculo de la atenuación sonora.

Se partirá de 3 ecuaciones (continuidad, equilibrio y energía), con las que se formará un sistema de ecuaciones que, con las debidas simplificaciones y condiciones de contorno, llevarán a una solución del problema.

En primer lugar, siendo ρ la densidad del fluido y $[u,v,w]$ las componentes de la velocidad, la ecuación de continuidad se define de la siguiente manera y expresa la conservación de masa para un volumen de control:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

En segundo lugar, las ecuaciones de Navier-Stokes, o ecuaciones de equilibrio, expresan el equilibrio dinámico de las fuerzas inerciales, volumétricas, de presión y viscosas sobre un volumen de control. Se definen de la siguiente forma:

$$\rho a_x = \rho B_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \mu \nabla \vec{u} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right]$$

$$\rho a_y = \rho B_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left(2\mu \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{2}{3} \mu \nabla \vec{u} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right]$$

$$\rho a_z = \rho B_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left(2\mu \frac{\partial u}{\partial z} - \frac{2}{3} \mu \nabla \vec{u} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial x} \right) \right]$$

Por último, la ecuación de la energía expresa el equilibrio de energía en un volumen de control. Tiene la siguiente forma:

$$\left[\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{1}{2} \frac{\partial}{\partial t} \rho (u^2 + v^2 + w^2) \right] dx dy dz = 0$$

Habrà que añadir la ecuación de la energía interna, la ecuación de estado y la ecuación de viscosidad. Además, las condiciones de contorno iniciales serán esenciales para poder resolver el problema.

$$E = E(p, T)$$

$$\rho = \rho(p, T)$$

$$\mu = \mu(p, T)$$

Llegados a este punto, tenemos un sistema de ocho ecuaciones que posee una solución única. Sin embargo, dichas ecuaciones son no lineales, lo que implica una gran

complejidad para su resolución. Por ello, normalmente se suelen hacer simplificaciones para poder solucionar el problema, aunque ello conlleve una pérdida de exactitud. En concreto, linealizar las ecuaciones es el proceso de simplificación más común.

En el presente trabajo se ha realizado una linealización de las ecuaciones. Para ello, se ha supuesto que las variaciones de presión, densidad y velocidad son pequeñas y, por tanto, despreciables. Por otro lado, se ha supuesto que el fluido utilizado sea el aire, considerando a éste como gas ideal. De esta forma, se cumple la ecuación de los gases ideales. Además, se ha considerado que el aire tiene una viscosidad despreciable.

Aplicando todas las simplificaciones anteriores y operando con las ecuaciones mostradas anteriormente, se llega a la ecuación de Helmholtz (donde ∇ es el laplaciano, k una constante y $P=P'e^{i\omega t}$):

$$(\nabla^2 - k^2)P' = 0$$

Dicha ecuación muestra el comportamiento del campo de presiones acústicas en el seno del fluido durante el avance de la onda de presión. Esta expresión se debe particularizar para el caso de rejillas, aunque ya es evidente que el sistema de ecuaciones es mucho más simple que el mostrado anteriormente.

Actualmente, hay varios programas de cálculo y simulación que realizan las simplificaciones que se han explicado previamente. En este proyecto se utiliza el Método de los Elementos Finitos para la resolución del problema, el cual se realizará con el programa informático Ansys.

2. OBJETIVOS. ALCANCE DEL PROYECTO

El **objetivo principal** de este proyecto es optimizar los modelos informáticos de cinco tipos de rejillas acústicas, similares a los modelos comerciales usados en la actualidad, mediante un análisis de sensibilidad utilizando el programa informático Ansys. De este modo, se tratará de encontrar la rejilla más apropiada para cada tipo de ruido analizado (ruido rosa, ruido de un transformador, ruido de una bomba centrífuga y ruido de un compresor).

El **alcance** de este proyecto incluirá la influencia sobre la atenuación del ruido de los siguientes aspectos:

1. Influencia de la incorporación de una placa de acero perforada en la atenuación del ruido de cada rejilla.
2. Influencia de la modificación de la geometría de la rejilla
 - a. Profundidad de la rejilla
 - b. Distancia entre bafles
3. Influencia de la modificación de los parámetros principales de la placa de acero
 - a. Espesor de la placa
 - b. Diámetro de perforación
 - c. Superficie de paso
4. Influencia de la modificación de las propiedades del fluido
 - a. Tipo de fluido
 - b. Temperatura
5. Influencia sobre el ruido regenerado de la velocidad de entrada del fluido en la rejilla

Este proyecto en principio está orientado a los cinco tipos de rejillas acústicas analizados. Sin embargo, es posible que los resultados puedan ser aplicados al diseño de cualquier otro tipo de rejilla. Además, también podrían ser extrapolables al diseño de cualquier tipo de silenciador disipativo.

3. METODOLOGÍA

En este capítulo se desarrolla el procedimiento metodológico que se ha seguido para la optimización de las cinco rejillas acústicas. Se detallarán los programas informáticos, cómo se han implementado los modelos, la manipulación y el análisis de los resultados obtenidos y, por último, el cálculo del ruido regenerado. Por otro lado, dentro del modelado de las rejillas se explicarán los distintos comandos que se han utilizado.

3.1. PROGRAMAS INFORMÁTICOS

Se han utilizado 4 programas principalmente: Ansys, Matlab, Excel y Fluent.

3.1.1. ANSYS

Ansys es un software de simulación que permite predecir cómo funcionará y reaccionará un determinado producto bajo un entorno real. La base de su funcionamiento es el método de los elementos finitos. Tiene 3 herramientas principales llamadas módulos: pre-procesador (creación de la geometría y del mallado), procesador (solucionador del problema una vez aplicadas las cargas) y post-procesador (muestra los resultados deseados). El primero y el tercero disponen de una interfaz gráfica, que en el caso de este trabajo no serán utilizadas. Se ha usado la parte de Mechanical APDL para el desarrollo del proyecto.

3.1.2. MATLAB

Matlab es una herramienta de software matemático que ofrece un entorno de desarrollo integrado con un lenguaje de programación propio. Algunas de sus funcionalidades son: manipulación de matrices, representación de datos y funciones, implementación de algoritmos, creación de interfaces de usuario y la comunicación con programas en otros lenguajes y con otros dispositivos hardware. En el presente trabajo simplemente se utilizará para la representación y manipulación de datos, los cuales se obtendrán de Ansys. Además, también se usará para la comparación entre distintos tipos de rejillas.

3.1.3. EXCEL

Excel es una aplicación distribuida por Microsoft Office para realizar hojas de cálculo. Normalmente es utilizado para tareas financieras y contables. En este proyecto ha sido utilizado para representar los resultados procedentes de Matlab en tercios de octava, con el fin de obtener gráficas más simples y claras.

3.1.4. FLUENT

Fluent es una parte de Ansys. Contiene las características del modelado físico necesarias para modelar flujos, turbulencias, transferencias de calor y reacciones para aplicaciones industriales. Al contrario que en Ansys Mechanical APDL, el uso de esta parte es totalmente mediante la interfaz gráfica. Este software se ha utilizado para el análisis del ruido regenerado en los cinco tipos de rejillas.

3.2. PLACAS DE ACERO PERFORADAS

A diferencia de las chapas de acero convencionales, las chapas perforadas ofrecen resistencia, permeabilidad y transparencia. Es por eso que encuentran su uso en tantas áreas: resuelven los problemas de filtración, sirven como separación, protección, aislamiento, decoración y para lavar y secar. Se utilizan en la industria química, alimentaria y automotriz, entre otras.

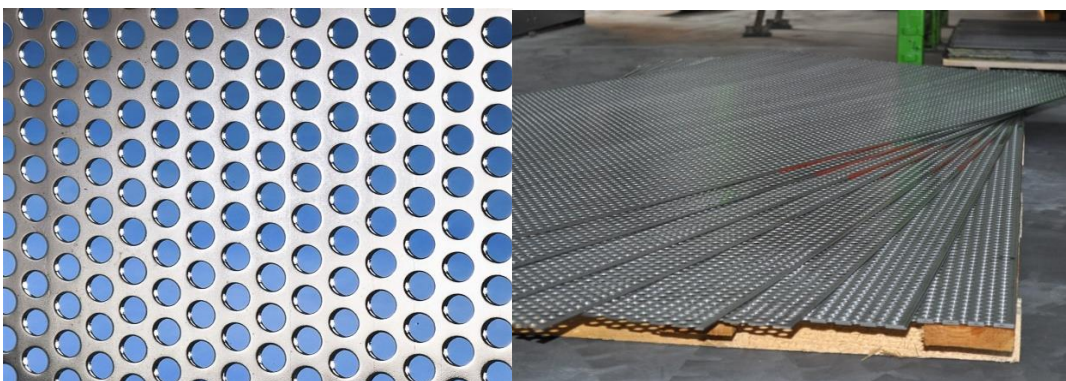


Ilustración 11: Placas de acero perforadas

Como materiales perforados se suelen utilizar principalmente el acero inoxidable, aceros al carbono, aceros de alta resistencia, zinc, polipropileno, monel, aleaciones, latón, cobre, PVC y titanio. El espesor de las chapas puede ser desde un mínimo de 0.4 mm hasta un

máximo de 20 mm. Las perforaciones pueden ser redondas, cuadradas, rectangulares, romboidales, etc.

En el caso de este proyecto se utilizarán placas con perforaciones redondas. Habrá dos parámetros fundamentales que definen la placa: el diámetro de la perforación y el período o distancia entre agujeros. Estas dos variables serán dos de las que se analizará su influencia sobre la atenuación de las rejillas.

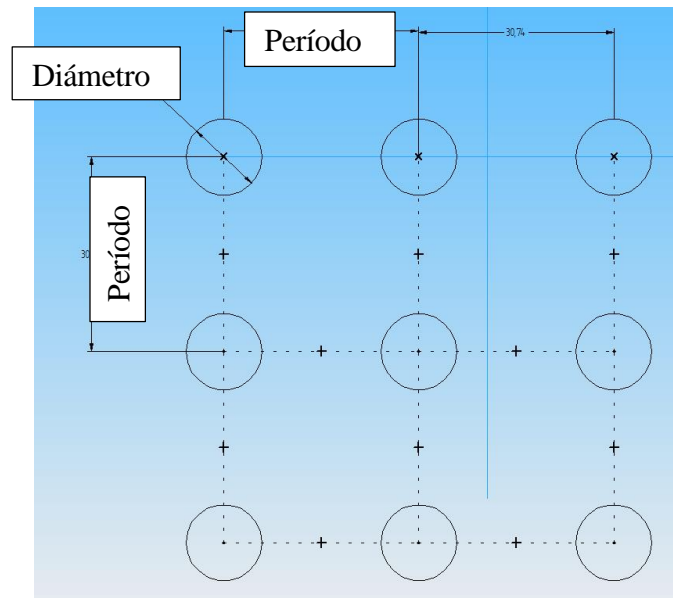


Ilustración 12: Parámetros placa perforada

3.3. PREPROCESADO: GEOMETRÍA Y MALLADO.

Como se ha comentado previamente, esta parte del trabajo se realiza utilizando el software informático Ansys Mechanical APDL. El principal motivo por el que se ha optado por este programa es porque permite trabajar mediante un archivo .log que se puede realizar en un bloc de notas. Esto será una gran ventaja, ya que es posible variar los distintos parámetros de la rejilla sin necesidad de reescribir el código completo cada vez que se cambie uno de ellos.

En el presente trabajo se parte de cinco códigos de rejillas, en los que habrá que introducir una placa de acero perforado debajo de cada baffle de material absorbente. A continuación se detalla la forma de proceder en el caso de una de las rejillas (rejilla tipo 1).

- El primer paso será definir todos los puntos (keypoints) necesarios para poder crear la geometría.

! K, NPT, X, Y, Z sirve para definir un keypoint. Hay que proporcionarle el número del punto y las coordenadas donde se encontrará.

! CLOCAL, KCN, KCS, XL, YL, ZL, THXY, THYZ, THZX, PAR1, PAR2

Este comando se utiliza para definir un sistema de referencia local relativo al sistema de referencia activo. En nuestro caso, se usa para poder definir los puntos que formarán la placa de acero perforada. Irá seguido del comando "CSYS", el cual activa el sistema de referencia definido.

- El siguiente paso será definir las líneas que formarán la geometría.

! L, P1, P2 sirve para definir una línea entre dos puntos.

- Una vez definidas todas las líneas, se pasará a definir las áreas.

! AL, L1, L2,..., L10 sirve para generar un área limitada por líneas previamente definidas.

- Para terminar con la geometría, se generarán los volúmenes a partir de las áreas ya definidas.

! VEXT, NA1, NA2, NINC, DX, DY, DZ,,,,, sirve para generar volúmenes mediante la extrusión de áreas definidas previamente.

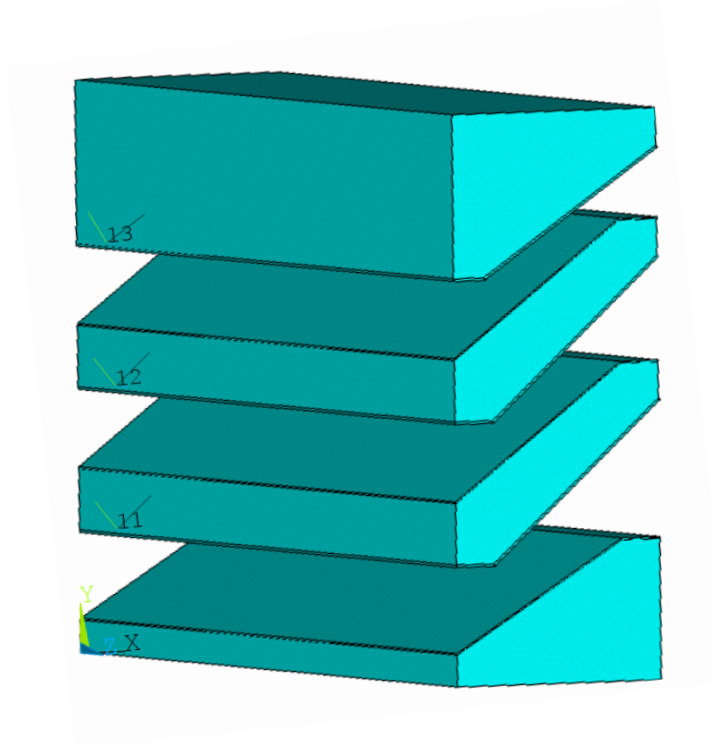


Ilustración 13: Modelo rejilla tipo 1 en Ansys

Llegados a este punto ya está definida la geometría de la rejilla. A continuación se explican los pasos seguidos para realizar el mallado de la misma:

- Definir el tipo de elemento y las propiedades del material

! ET,1,220,,1 este tipo de elemento permite realizar análisis acústicos. La peculiaridad que tiene es que los elementos serán hexagonales en lugar de tetragonales. Esto será muy importante al definir los "PORT" posteriormente, ya que deben tener el mismo número de elementos y del mismo tamaño en las dos caras de la placa perforada.

! MP,DENS,1,RHO0

! MP,SONC,1,C0

! MP,DENS,2,RHO

! MP,SONC,2,C_AC

! MP,DENS,3,RHO0

! MP,SONC,3,C0 con estas instrucciones se le dan las propiedades a los 3 tipos de material que habrá en el modelo: aire, placa de acero perforada y material absorbente.

- El siguiente paso será perforar la placa de acero.


```

! TBDEL, PERF, 2
! TB, PERF, 2, , , SGYM
! C1=RPERFO
! C2=PERIODO
! C3=ESPESOR
! C4=RHO0
! C5=VISC_DINAMICA
! C6=1
! TBDATA, , C1, C2, C3, C4, C5, C6
! TBLIST, PERF, 2  estos seis valores serán algunos de
los que se irán variando posteriormente en el análisis
de sensibilidad. En el caso de querer realizar una
placa de acero con distintos diámetros de perforación,
en este trabajo se ha realizado dividiendo la
superficie en 3 partes y dándole a cada una el diámetro
deseado.

```
- Definir la velocidad normal de entrada de aire en la rejilla y definir el tamaño de la malla.


```

! PA=1
! Z0=RHO0*C0
! UN=-PA/Z0
! MSHAPE, 0, 3D
! ESIZE, h  h se calcula a partir de la longitud de onda
más alta de trabajo h=wave/10, la cual se define como
wave=c0/freq. Mientras más pequeño sea h, más fina será
la malla y por tanto, mejores serán los resultados
obtenidos.

```
- El siguiente paso será definir la malla.


```

! TYPE, 1
! MAT, 1
! VSEL, S, , , NUMERO_VOLUMEN

```

! VMESH,ALL estos 4 comandos deben repetirse para todos los volúmenes, teniendo cuidado al elegir el material del volumen que queremos mallar.

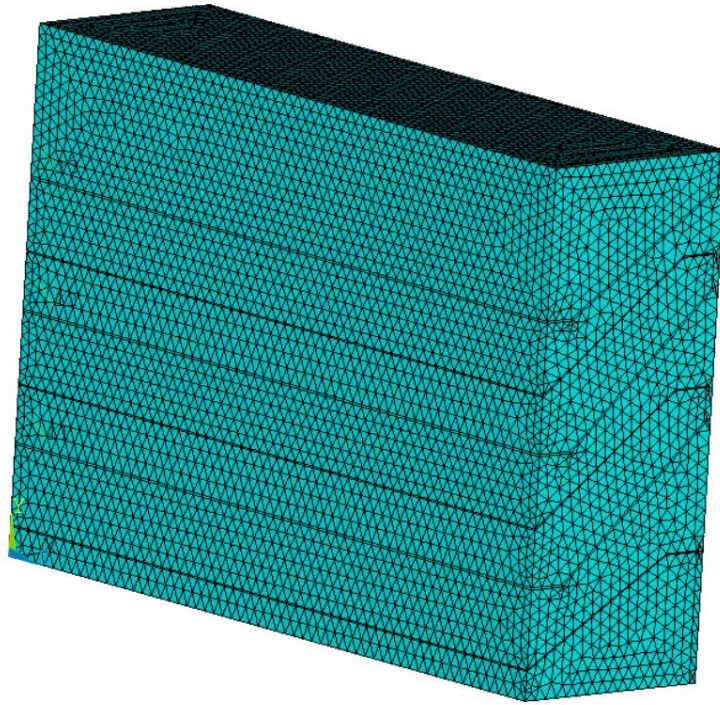


Ilustración 14: Ejemplo de geometría mallada

- Una vez mallada la rejilla, se deben definir los “port”. Esto se debe hacer siempre que haya una placa de acero perforada.

```
! ESEL,S,MAT,,2
```

```
! ASEL,S,AREA,,NUM_AREA
```

```
! NSLA,S,1
```

! SF,ALL,PORT,1 se deberá repetir para todas las caras de la placa perforada de cada bafle.

En la superficie de entrada de aire se deberán añadir los dos siguientes comandos

```
! SF,ALL,SHLD,UN
```

```
! SF,ALL,IMPD,Z0
```

En la superficie de salida de aire se deberá añadir sólo el siguiente comando a los 4 primeros.

```
! SF,ALL,INF
```

Con esto se llega al final del módulo del pre-procesado. Aunque no se ha comentado previamente, será muy importante parametrizar todas las variables de manera que sea más

sencillo realizar el análisis de sensibilidad. Para ello, al principio del código deberán incluirse todas las variables que se vayan a utilizar posteriormente.

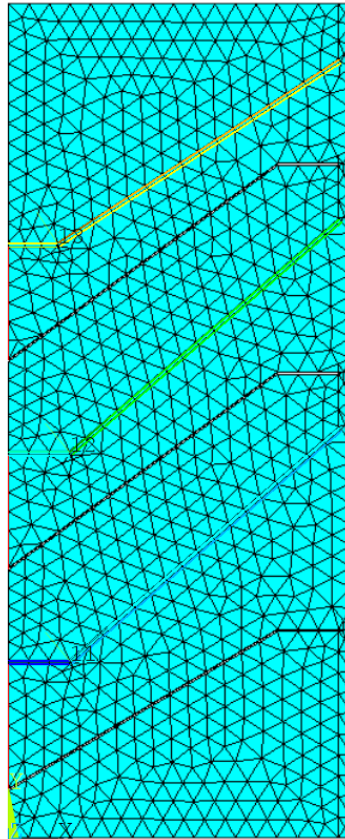
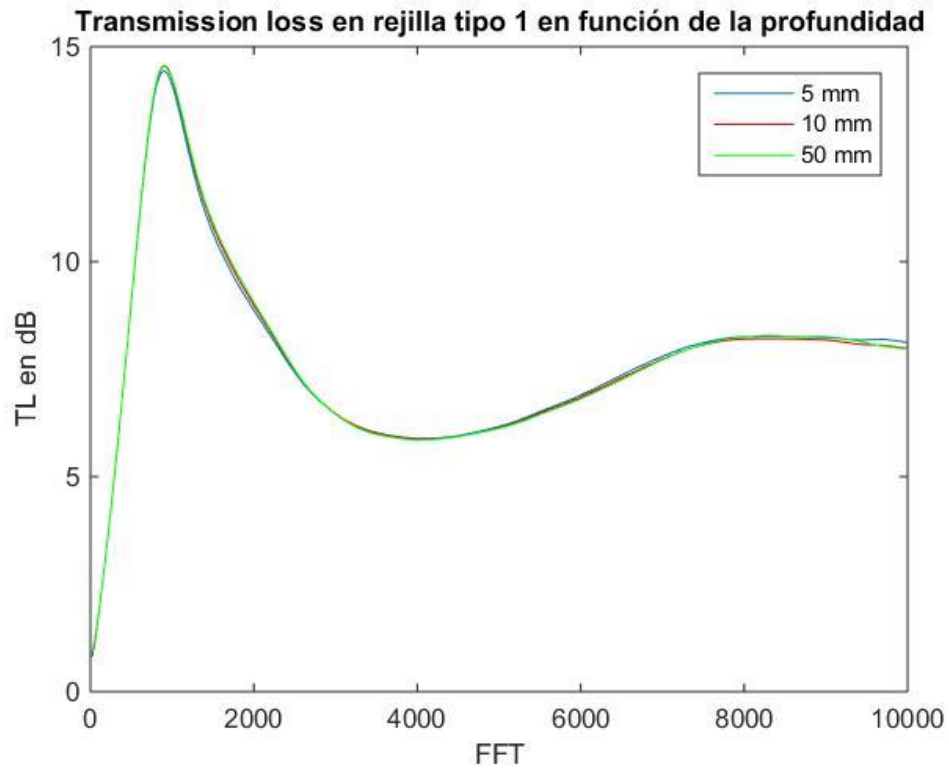


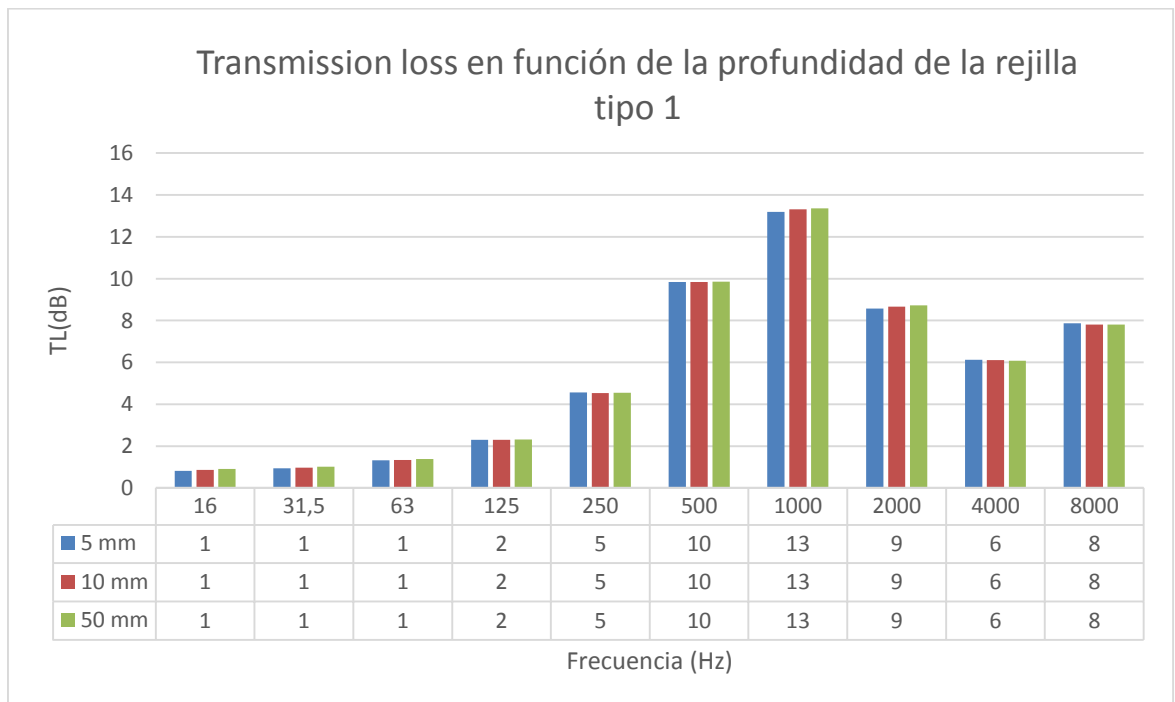
Ilustración 15: Definición de los "port"

3.3.1. ELECCIÓN DE LA PROFUNDIDAD DE LA GEOMETRÍA

La profundidad de la rejilla no influye en los resultados obtenidos, como se observa en las siguientes gráficas utilizando diferentes medidas en la rejilla tipo 1. Se ha elegido una profundidad de la geometría de 10 mm, lo que permite reducir el tiempo de cálculo. Sería más lógico realizar todos los cálculos con la profundidad de 5 mm, sin embargo se producirían algunos errores en algunas rejillas debido a que el tamaño de la malla es muy pequeño. Se descarta usar los 50 mm de profundidad, ya que el tiempo de cálculo es más del triple que en el caso de 10 mm.



Gráfica 1: TL según profundidad rejilla 1



Gráfica 2: TL en bandas de octava según profundidad rejilla 1

Como se puede apreciar el espectro de las frecuencias es prácticamente igual en los 3 casos. En el gráfico en bandas de octavas, se observa que la variación es mínima (apenas existen variaciones de 0,2 dB).

3.4. PROCESADO: RESOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En este apartado será muy importante conocer el tipo de análisis que se desea realizar. En este caso se hará un análisis armónico.

Otro punto a tener en cuenta será el número de pasos que se quiera dar en el análisis. Esto influirá en la continuidad del espectro de atenuación sonora que se obtenga en el siguiente apartado. Por este motivo se decidirá realizar tres veces el proceso de resolución: una para baja frecuencia, otra para media frecuencia y otra para alta frecuencia. Debido que en baja frecuencia (de 11 a 355 Hz) necesitamos mayor precisión, al experimentar la curva de atenuación grandes variaciones, se optará por un número de pasos muy elevado (200 pasos) para obtener mejores resultados. En media frecuencia (de 355 a 2840 Hz) se darán 100 pasos y en alta frecuencia (de 2840 a 9999 Hz) 50 pasos.

A continuación, se muestra el código utilizado en este apartado:

```
! ANTYPE, HARMIC
! HROPT, AUTO
! KBC, 1
! HARF, 11, 355
! NSUB, 200
! SOLVE
```

El tiempo de cálculo dependerá de la malla que se haya utilizado. Mientras más pequeña sea ésta mejores resultados se obtendrán. No obstante, una malla con elementos muy pequeños implicará tiempos de cálculo de horas e incluso días. Por tanto, elegir un buen tamaño de malla será esencial para realizar un correcto análisis de sensibilidad, así como para ahorrar tiempo de simulación.

3.5. POST-PROCESADO: OBTENCIÓN DE LOS RESULTADOS

En el post-procesado se mostrarán los resultados obtenidos en el módulo anterior. Habrá que abrir tres veces este módulo, puesto que se ha decidido dividir el problema en tres partes (baja, media y alta frecuencia). Simplemente habrá que utilizar los dos siguientes comandos después de cada módulo de procesado:

! SPOWER,PORT_ENTRADA,PORT_SALIDA este comando sirve para calcular los parámetros acústicos, como la pérdida de carga.
! PLST,tfg1314,A2P,TL este comando sirve para mostrar en una tabla los resultados de la pérdida de carga calculados. Habrá que proporcionarle el nombre del fichero donde esté trabajando Ansys seguido de los números del port de entrada y el de salida.

Una vez obtenidos los resultados de la atenuación de cada rejilla, se procederá a guardarlos en un bloc de notas. Se tendrá un bloc de notas por cada módulo de post-procesado, por lo que habrá que juntar dichos archivos en uno solo para poder trabajar con ellos en Matlab.

3.6. MANIPULACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos anteriormente corresponden con el espectro en frecuencia de la atenuación de cada rejilla. Normalmente, la atenuación de estos dispositivos se muestra en tercios de octava, por ellos se requiere del software Matlab. Consiste en representar el valor medio de la pérdida de carga en un rango de frecuencias determinado. Usualmente un análisis en bandas de octava proporciona suficiente información. No obstante, si se desea mayor información, como ocurre en este proyecto, se recurre a un análisis en tercios de octava, debido a las grandes variaciones de TL en bajas frecuencias.

Por otro lado, también se usará el programa Matlab para la comparación de los resultados obtenidos sobre la atenuación de cada rejilla. Dichos resultados se mostrarán mediante gráficas en las que se compararán los distintos análisis de sensibilidad realizados.

Por tanto, el siguiente código de Matlab, proporcionará una gráfica comparativa entre varios modelos de rejilla en todas las frecuencias. Además, también se obtendrán los valores de atenuación en cada banda, los cuales se exportarán posteriormente a Excel para realizar la respectiva gráfica. En el código siguiente se muestra un ejemplo de análisis de sensibilidad en el que se varía el diámetro de las perforaciones de la placa de acero.

```
clc
clear all
close all

load('rejilla1_2mm.txt');
primera=rejilla1_2mm;
frec=primera(:,1);
tl=primera(:,2);

load('rejilla1_5mm.txt');
```

```

segunda=rejilla1_5mm;
frec2=segunda(:,1);
t12=segunda(:,2);

load('rejilla1_10mm.txt');
tercera=rejilla1_10mm;
frec3=tercera(:,1);
t13=tercera(:,2);

load('rejilla1.txt');
cuarta=rejilla1;
frec4=cuarta(:,1);
t14=cuarta(:,2);

load('rejilla1_234.txt');
quinta=rejilla1_234;
frec5=quinta(:,1);
t15=quinta(:,2);

t1_tercio=zeros(1,29);
t1_tercio2=zeros(1,29);
t1_tercio3=zeros(1,29);
t1_tercio4=zeros(1,29);
t1_tercio5=zeros(1,29);

cont2=zeros(1,29);

n=length(frec);

for i=1:n %se realiza un bucle para pasar del espectro de frecuencia a
tercios de octavas
    if frec(i)>14.1 && frec(i)<=17.8
        t1_tercio(1)=t1_tercio(1)+t1(i);
        t1_tercio2(1)=t1_tercio2(1)+t12(i);
        t1_tercio3(1)=t1_tercio3(1)+t13(i);
        t1_tercio4(1)=t1_tercio4(1)+t14(i);
        t1_tercio5(1)=t1_tercio5(1)+t15(i);
        cont2(1)=cont2(1)+1;
    end
    if frec(i)>17.8 && frec(i)<=22.4
        t1_tercio(2)=t1_tercio(2)+t1(i);
        t1_tercio2(2)=t1_tercio2(2)+t12(i);
        t1_tercio3(2)=t1_tercio3(2)+t13(i);
        t1_tercio4(2)=t1_tercio4(2)+t14(i);
        t1_tercio5(2)=t1_tercio5(2)+t15(i);
        cont2(2)=cont2(2)+1;
    end
    if frec(i)>22.4 && frec(i)<=28.2
        t1_tercio(3)=t1_tercio(3)+t1(i);
        t1_tercio2(3)=t1_tercio2(3)+t12(i);
        t1_tercio3(3)=t1_tercio3(3)+t13(i);
        t1_tercio4(3)=t1_tercio4(3)+t14(i);
        t1_tercio5(3)=t1_tercio5(3)+t15(i);
        cont2(3)=cont2(3)+1;
    end
    if frec(i)>28.2 && frec(i)<=33.5
        t1_tercio(4)=t1_tercio(4)+t1(i);
        t1_tercio2(4)=t1_tercio2(4)+t12(i);
        t1_tercio3(4)=t1_tercio3(4)+t13(i);

```

```

    tl_tercio4(4)=tl_tercio4(4)+tl4(i);
    tl_tercio5(4)=tl_tercio5(4)+tl5(i);
    cont2(4)=cont2(4)+1;
end
if frec(i)>33.5 && frec(i)<=47.7
    tl_tercio(5)=tl_tercio(5)+tl(i);
    tl_tercio2(5)=tl_tercio2(5)+tl2(i);
    tl_tercio3(5)=tl_tercio3(5)+tl3(i);
    tl_tercio4(5)=tl_tercio4(5)+tl4(i);
    tl_tercio5(5)=tl_tercio5(5)+tl5(i);
    cont2(5)=cont2(5)+1;
end
if frec(i)>47.7 && frec(i)<=56.2
    tl_tercio(6)=tl_tercio(6)+tl(i);
    tl_tercio2(6)=tl_tercio2(6)+tl2(i);
    tl_tercio3(6)=tl_tercio3(6)+tl3(i);
    tl_tercio4(6)=tl_tercio4(6)+tl4(i);
    tl_tercio5(6)=tl_tercio5(6)+tl5(i);
    cont2(6)=cont2(6)+1;
end
if frec(i)>56.2 && frec(i)<=70.8
    tl_tercio(7)=tl_tercio(7)+tl(i);
    tl_tercio2(7)=tl_tercio2(7)+tl2(i);
    tl_tercio3(7)=tl_tercio3(7)+tl3(i);
    tl_tercio4(7)=tl_tercio4(7)+tl4(i);
    tl_tercio5(7)=tl_tercio5(7)+tl5(i);
    cont2(7)=cont2(7)+1;
end
if frec(i)>70.8 && frec(i)<=89.1
    tl_tercio(8)=tl_tercio(8)+tl(i);
    tl_tercio2(8)=tl_tercio2(8)+tl2(i);
    tl_tercio3(8)=tl_tercio3(8)+tl3(i);
    tl_tercio4(8)=tl_tercio4(8)+tl4(i);
    tl_tercio5(8)=tl_tercio5(8)+tl5(i);
    cont2(8)=cont2(8)+1;
end
if frec(i)>89.1 && frec(i)<=112
    tl_tercio(9)=tl_tercio(9)+tl(i);
    tl_tercio2(9)=tl_tercio2(9)+tl2(i);
    tl_tercio3(9)=tl_tercio3(9)+tl3(i);
    tl_tercio4(9)=tl_tercio4(9)+tl4(i);
    tl_tercio5(9)=tl_tercio5(9)+tl5(i);
    cont2(9)=cont2(9)+1;
end
if frec(i)>112 && frec(i)<=141
    tl_tercio(10)=tl_tercio(10)+tl(i);
    tl_tercio2(10)=tl_tercio2(10)+tl2(i);
    tl_tercio3(10)=tl_tercio3(10)+tl3(i);
    tl_tercio4(10)=tl_tercio4(10)+tl4(i);
    tl_tercio5(10)=tl_tercio5(10)+tl5(i);
    cont2(10)=cont2(10)+1;
end
if frec(i)>141 && frec(i)<=178
    tl_tercio(11)=tl_tercio(11)+tl(i);
    tl_tercio2(11)=tl_tercio2(11)+tl2(i);
    tl_tercio3(11)=tl_tercio3(11)+tl3(i);
    tl_tercio4(11)=tl_tercio4(11)+tl4(i);
    tl_tercio5(11)=tl_tercio5(11)+tl5(i);
    cont2(11)=cont2(11)+1;
end
if frec(i)>178 && frec(i)<=224

```

```

    tl_tercio(12)=tl_tercio(12)+tl(i);
    tl_tercio2(12)=tl_tercio2(12)+tl2(i);
    tl_tercio3(12)=tl_tercio3(12)+tl3(i);
    tl_tercio4(12)=tl_tercio4(12)+tl4(i);
    tl_tercio5(12)=tl_tercio5(12)+tl5(i);
    cont2(12)=cont2(12)+1;
end
if frec(i)>224 && frec(i)<=282
    tl_tercio(13)=tl_tercio(13)+tl(i);
    tl_tercio2(13)=tl_tercio2(13)+tl2(i);
    tl_tercio3(13)=tl_tercio3(13)+tl3(i);
    tl_tercio4(13)=tl_tercio4(13)+tl4(i);
    tl_tercio5(13)=tl_tercio5(13)+tl5(i);
    cont2(13)=cont2(13)+1;
end
if frec(i)>282 && frec(i)<=355
    tl_tercio(14)=tl_tercio(14)+tl(i);
    tl_tercio2(14)=tl_tercio2(14)+tl2(i);
    tl_tercio3(14)=tl_tercio3(14)+tl3(i);
    tl_tercio4(14)=tl_tercio4(14)+tl4(i);
    tl_tercio5(14)=tl_tercio5(14)+tl5(i);
    cont2(14)=cont2(14)+1;
end
if frec(i)>355 && frec(i)<=447
    tl_tercio(15)=tl_tercio(15)+tl(i);
    tl_tercio2(15)=tl_tercio2(15)+tl2(i);
    tl_tercio3(15)=tl_tercio3(15)+tl3(i);
    tl_tercio4(15)=tl_tercio4(15)+tl4(i);
    tl_tercio5(15)=tl_tercio5(15)+tl5(i);
    cont2(15)=cont2(15)+1;
end
if frec(i)>447 && frec(i)<=562
    tl_tercio(16)=tl_tercio(16)+tl(i);
    tl_tercio2(16)=tl_tercio2(16)+tl2(i);
    tl_tercio3(16)=tl_tercio3(16)+tl3(i);
    tl_tercio4(16)=tl_tercio4(16)+tl4(i);
    tl_tercio5(16)=tl_tercio5(16)+tl5(i);
    cont2(16)=cont2(16)+1;
end
if frec(i)>562 && frec(i)<=708
    tl_tercio(17)=tl_tercio(17)+tl(i);
    tl_tercio2(17)=tl_tercio2(17)+tl2(i);
    tl_tercio3(17)=tl_tercio3(17)+tl3(i);
    tl_tercio4(17)=tl_tercio4(17)+tl4(i);
    tl_tercio5(17)=tl_tercio5(17)+tl5(i);
    cont2(17)=cont2(17)+1;
end
if frec(i)>708 && frec(i)<=891
    tl_tercio(18)=tl_tercio(18)+tl(i);
    tl_tercio2(18)=tl_tercio2(18)+tl2(i);
    tl_tercio3(18)=tl_tercio3(18)+tl3(i);
    tl_tercio4(18)=tl_tercio4(18)+tl4(i);
    tl_tercio5(18)=tl_tercio5(18)+tl5(i);
    cont2(18)=cont2(18)+1;
end
if frec(i)>891 && frec(i)<=1122
    tl_tercio(19)=tl_tercio(19)+tl(i);
    tl_tercio2(19)=tl_tercio2(19)+tl2(i);
    tl_tercio3(19)=tl_tercio3(19)+tl3(i);
    tl_tercio4(19)=tl_tercio4(19)+tl4(i);
    tl_tercio5(19)=tl_tercio5(19)+tl5(i);

```

```

        cont2(19)=cont2(19)+1;
end
if frec(i)>1122 && frec(i)<=1413
    tl_tercio(20)=tl_tercio(20)+tl(i);
    tl_tercio2(20)=tl_tercio2(20)+tl2(i);
    tl_tercio3(20)=tl_tercio3(20)+tl3(i);
    tl_tercio4(20)=tl_tercio4(20)+tl4(i);
    tl_tercio5(20)=tl_tercio5(20)+tl5(i);
    cont2(20)=cont2(20)+1;
end
if frec(i)>1413 && frec(i)<=1773
    tl_tercio(21)=tl_tercio(21)+tl(i);
    tl_tercio2(21)=tl_tercio2(21)+tl2(i);
    tl_tercio3(21)=tl_tercio3(21)+tl3(i);
    tl_tercio4(21)=tl_tercio4(21)+tl4(i);
    tl_tercio5(21)=tl_tercio5(21)+tl5(i);
    cont2(21)=cont2(21)+1;
end
if frec(i)>1773 && frec(i)<=2239
    tl_tercio(22)=tl_tercio(22)+tl(i);
    tl_tercio2(22)=tl_tercio2(22)+tl2(i);
    tl_tercio3(22)=tl_tercio3(22)+tl3(i);
    tl_tercio4(22)=tl_tercio4(22)+tl4(i);
    tl_tercio5(22)=tl_tercio5(22)+tl5(i);
    cont2(22)=cont2(22)+1;
end
if frec(i)>2239 && frec(i)<=2818
    tl_tercio(23)=tl_tercio(23)+tl(i);
    tl_tercio2(23)=tl_tercio2(23)+tl2(i);
    tl_tercio3(23)=tl_tercio3(23)+tl3(i);
    tl_tercio4(23)=tl_tercio4(23)+tl4(i);
    tl_tercio5(23)=tl_tercio5(23)+tl5(i);
    cont2(23)=cont2(23)+1;
end
if frec(i)>2818 && frec(i)<=3548
    tl_tercio(24)=tl_tercio(24)+tl(i);
    tl_tercio2(24)=tl_tercio2(24)+tl2(i);
    tl_tercio3(24)=tl_tercio3(24)+tl3(i);
    tl_tercio4(24)=tl_tercio4(24)+tl4(i);
    tl_tercio5(24)=tl_tercio5(24)+tl5(i);
    cont2(24)=cont2(24)+1;
end
if frec(i)>3548 && frec(i)<=4467
    tl_tercio(25)=tl_tercio(25)+tl(i);
    tl_tercio2(25)=tl_tercio2(25)+tl2(i);
    tl_tercio3(25)=tl_tercio3(25)+tl3(i);
    tl_tercio4(25)=tl_tercio4(25)+tl4(i);
    tl_tercio5(25)=tl_tercio5(25)+tl5(i);
    cont2(25)=cont2(25)+1;
end
if frec(i)>4467 && frec(i)<=5623
    tl_tercio(26)=tl_tercio(26)+tl(i);
    tl_tercio2(26)=tl_tercio2(26)+tl2(i);
    tl_tercio3(26)=tl_tercio3(26)+tl3(i);
    tl_tercio4(26)=tl_tercio4(26)+tl4(i);
    tl_tercio5(26)=tl_tercio5(26)+tl5(i);
    cont2(26)=cont2(26)+1;
end
if frec(i)>5623 && frec(i)<=7079
    tl_tercio(27)=tl_tercio(27)+tl(i);

```

```

        tl_tercio2(27)=tl_tercio2(27)+tl2(i);
        tl_tercio3(27)=tl_tercio3(27)+tl3(i);
        tl_tercio4(27)=tl_tercio4(27)+tl4(i);
        tl_tercio5(27)=tl_tercio5(27)+tl5(i);
        cont2(27)=cont2(27)+1;
    end
    if frec(i)>7079 && frec(i)<=8913
        tl_tercio(28)=tl_tercio(28)+tl(i);
        tl_tercio2(28)=tl_tercio2(28)+tl2(i);
        tl_tercio3(28)=tl_tercio3(28)+tl3(i);
        tl_tercio4(28)=tl_tercio4(28)+tl4(i);
        tl_tercio5(28)=tl_tercio5(28)+tl5(i);
        cont2(28)=cont2(28)+1;
    end
    if frec(i)>8913 && frec(i)<=11220
        tl_tercio(29)=tl_tercio(29)+tl(i);
        tl_tercio2(29)=tl_tercio2(29)+tl2(i);
        tl_tercio3(29)=tl_tercio3(29)+tl3(i);
        tl_tercio4(29)=tl_tercio4(29)+tl4(i);
        tl_tercio5(29)=tl_tercio5(29)+tl5(i);
        cont2(29)=cont2(29)+1;
    end
end
for i=1:29
    tl_tercio(i)=tl_tercio(i)/cont2(i);
    tl_tercio2(i)=tl_tercio2(i)/cont2(i);
    tl_tercio3(i)=tl_tercio3(i)/cont2(i);
    tl_tercio4(i)=tl_tercio4(i)/cont2(i);
    tl_tercio5(i)=tl_tercio5(i)/cont2(i);
end

frec_tercio=[16,20,25,31.5,40,50,63,80,100,125,160,200,250,315,400,500,6
30,800,1000,1250,1600,2000,2500,3150,4000,5000,6300,8000,10000];

figure(1)
plot(frec,tl,frec,tl2,'r',frec,tl3,'g',frec,tl4,'k')
title('Transmission loss según el diámetro perforación en la rejilla
tipo 1')
xlabel('FFT')
ylabel('TL en dB')
legend('2 mm','5 mm','10 mm','Sin placa')
figure(2)
plot(frec,tl2,frec,tl5)
title('Transmission loss según el tipo de perforación en la rejilla tipo
1')
xlabel('FFT')
ylabel('TL en dB')
legend('5 mm','Placa multiperforada (2, 3 y 4 mm)')

```

Como ya se ha comentado previamente, los resultados de atenuación en cada banda se exportarán a Excel, ya que normalmente en los catálogos se suelen expresar de esa forma. Bastará con copiar los valores de cada banda en una hoja de cálculo de la siguiente forma (en la siguiente imagen se muestra en bandas de octava, aunque en el trabajo se ha realizado en tercios de octava):

Banda de octava	16	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Atenuación	0,9	1,0	1,4	2,3	4,6	10,2	13,2	8,0	5,4	5,8	2 mm
	0,9	1,0	1,4	2,3	4,7	10,4	13,1	7,6	5,0	4,8	5 mm
	0,9	1,0	1,4	2,3	4,7	10,7	12,8	6,8	4,3	3,5	10 mm
	0,2	0,4	0,8	1,9	4,4	9,5	12,4	9,0	6,7	9,2	Sin placa

Ilustración 16: Manipulación datos 1

Posteriormente, se insertará una gráfica:

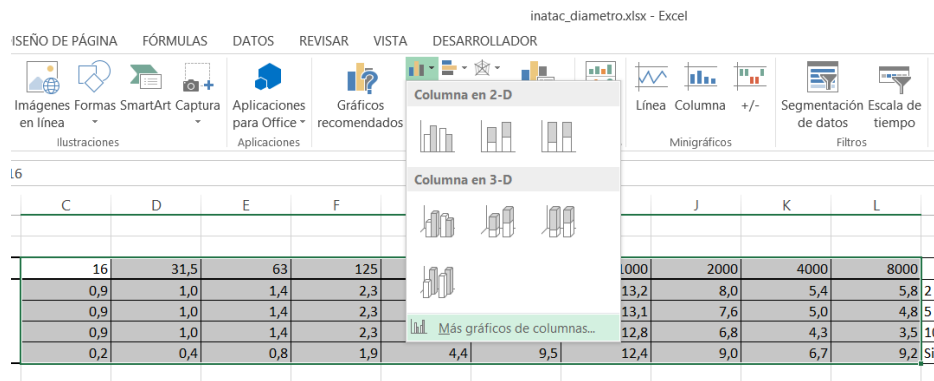


Ilustración 17: Manipulación datos 2

Entrando en “más gráficos de columnas” aparecerá la siguiente ventana:

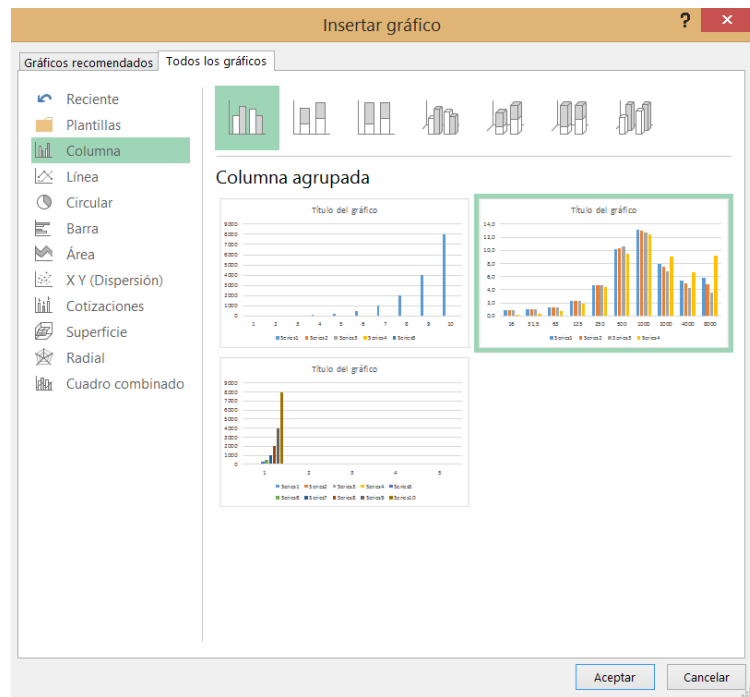


Ilustración 18: Manipulación datos 3

Automáticamente se obtendrá el gráfico comparativo en tercio de octavas deseado. Habrá que añadirle la tabla de datos en la parte inferior de la gráfica, además de una leyenda y el título de los ejes.

Una vez obtenidos los resultados de la atenuación en tercios de octava, se pasará a comprobar la influencia de cada tipo de análisis en la atenuación ante distintos tipos de ruido. Se analizarán 4 ruidos:

- **Ruido rosa:** El ruido rosa es un ruido cuyo nivel sonoro está caracterizado por una densidad espectral inversamente proporcional a la frecuencia. Cuando el ruido rosa se visualiza en un analizador con filtros de octava, se ve que todas las bandas de octava tienen el mismo nivel sonoro, lo cual es cierto dado que el ancho de banda de las bandas superiores es mayor que el de las inferiores. Esto ocurre porque los filtros de octava, tercio etc., son filtros proporcionales y, por tanto, cada vez que se baja una octava, se duplica el ancho de banda y por ese motivo el ruido rosa decrece 3 dB por octava, justo la proporción en que aumenta el ancho de banda, el doble. De esta forma se visualiza el ruido rosa como un ruido de nivel constante en todas las bandas de octava. Se utiliza para analizar el comportamiento de salas, altavoces, equipos de sonido, etc. Normalmente se genera entre 20 Hz y 20 kHz. Este ruido se utiliza para hacer mediciones acústicas, para poder ecualizar salas y habitaciones y para calibración de material sonoro. Se utiliza un generador de ruido rosa (actualmente generado mediante un código computacional) y con un micrófono de mediciones acústicas (omnidireccional y de respuesta en frecuencias plana) se recoge el sonido de la sala. Ese sonido se pasa por un analizador de espectro y se ecualiza hasta que se vean todas las bandas al mismo nivel. En este proyecto, se tomará un ruido de 80 dB en todas las frecuencias.
- **Ruido de un transformador:** el espectro del transformador que se utiliza en este trabajo es el que se muestra a continuación:

Frecuencia (Hz)	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Σ
Transformador (dB)	80	82	83	84	85	86	88	89	91	94	98	100	101	102	95	87	80	75	68	65	60	58	57	55	55	55	54	107

Tabla 1: Ruido de un transformador

- **Ruido de una bomba centrífuga:** el espectro de la bomba centrífuga que se utiliza en este trabajo es el que se muestra a continuación:

Frecuencia (Hz)	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Σ
Bomba centrífuga (dB)	48	50	52	54	59	62	68	73	77	79	81	83	84	85	85	86	86	85	84	83	82	80	79	78	76	74	72	95

Tabla 2: Ruido de una bomba centrífuga

- **Ruido de un compresor:** el espectro del compresor que se utiliza en este trabajo es el que se muestra a continuación:

Frecuencia (Hz)	25	31,5	40	50	63	80	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000	10000	Σ
Compresor (dB)	75	77	78	79	81	83	84	86	86	85	84	85	86	87	87	88	88	88	88	88	87	85	83	80	77	74	72	99

Tabla 3: Ruido de un compresor

En el siguiente capítulo se analizarán los resultados obtenidos de los análisis de sensibilidad. A continuación, se explicará la manera de proceder para calcular el ruido regenerado con el software Fluent.

3.7. CÁLCULO DEL RUIDO REGENERADO

A consecuencia de las turbulencias que se producen en el flujo de gases a su paso por las rejillas, se genera un ruido denominado “self-noise” o ruido regenerado, que ha de ser considerado por su efecto residual sobre la atenuación global conseguida.

Junto con la atenuación y las pérdidas de carga, este parámetro es un factor determinante a la hora de elegir la rejilla más adecuada para una determinada aplicación. Las principales variables que influyen sobre el ruido regenerado son la velocidad de paso del gas y las dimensiones de la rejilla.

Para determinar este ruido se utilizará el programa informático Fluent, que forma parte del paquete de Ansys. Lo primero que habrá que realizar será la geometría, con su respectivo mallado, de los conductos de la rejilla por donde irá el aire. Para ello, se usará el Ansys Workbench, por su uso intuitivo y facilidad de exportación de la geometría a Fluent.

Al abrir el programa Workbench aparecerá la siguiente pantalla, en la que habrá que arrastrar el módulo de Fluent hacia el recuadro.

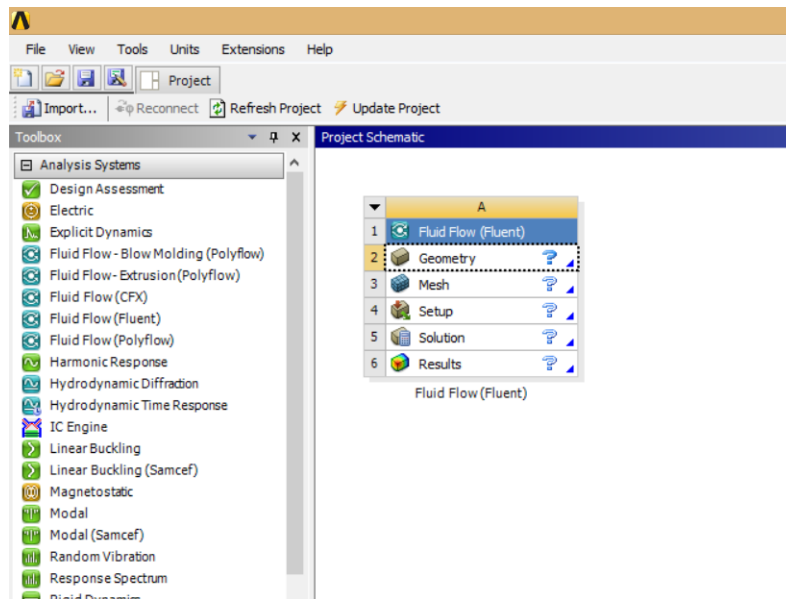


Ilustración 19: Cálculo de ruido regenerado 1

Lo primero será crear la geometría de cada rejilla. Al hacer *click* sobre “Geometry” aparecerá la siguiente ventana.

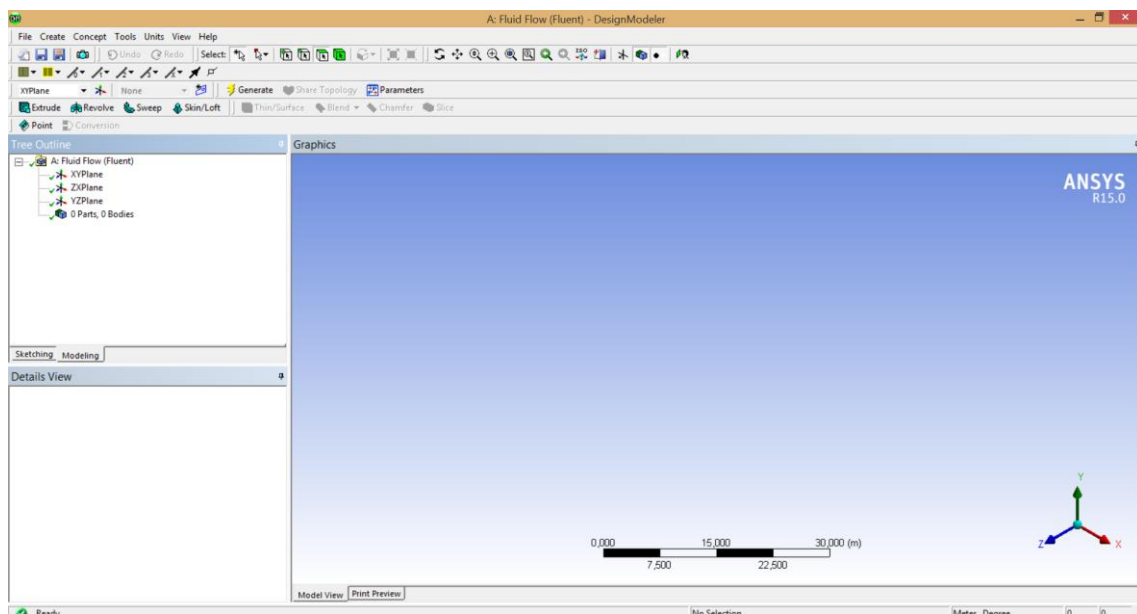


Ilustración 20: Cálculo del ruido regenerado 2

En esta ventana habrá que crear la geometría, añadiendo puntos, uniéndolos y creando los volúmenes a partir de las áreas. Como ejemplo se muestra la geometría de la rejilla 1.

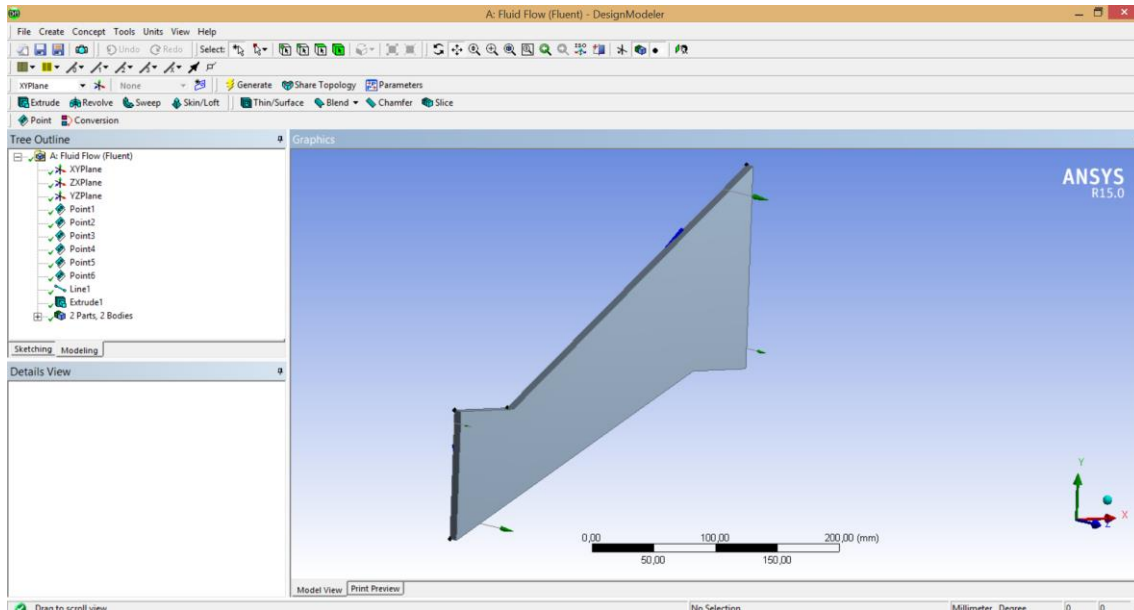


Ilustración 21: Cálculo del ruido regenerado 3

Una vez creada la geometría, se pasará a la parte del mallado (“Mesh”). Al realizar la malla, será importante definir la superficie de entrada y la de salida de aire, con el objetivo de facilitar el análisis en Fluent posterior.

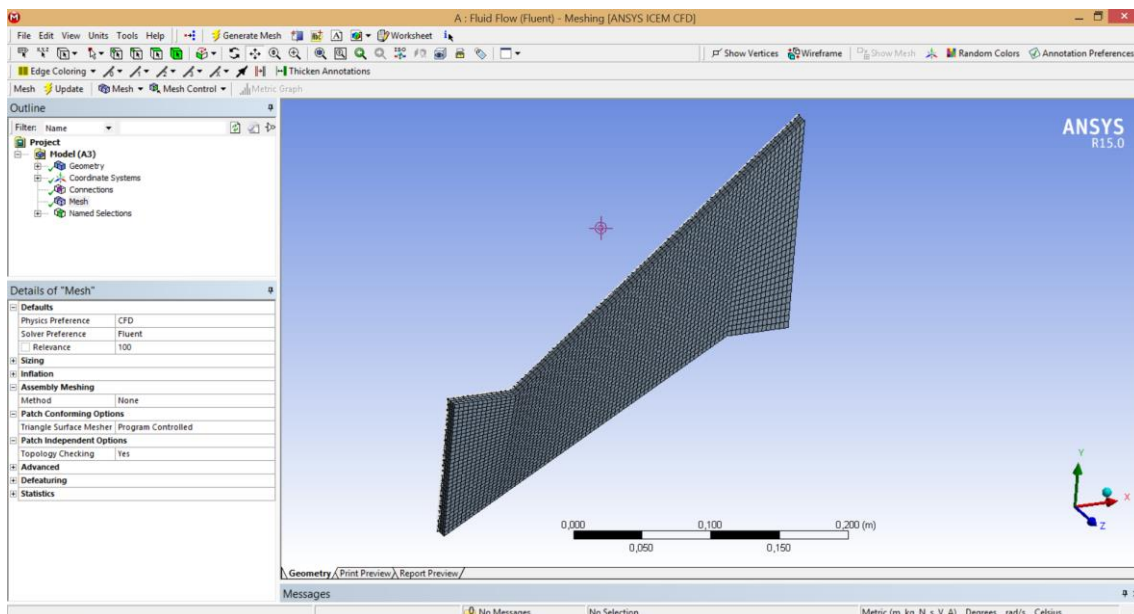


Ilustración 22: Cálculo del ruido regenerado 4

Llegados a este punto, se guardará la geometría mallada en un archivo “.msh”, el cual puede ser leído por Fluent.

Una vez abierto este archivo en Fluent, se procederá a preparar todos los parámetros para realizar el análisis acústico. Lo primero será entrar en la pestaña de “Model” que se puede ver en la imagen posterior y elegir la opción de “k-epsilon”, elegir “Realizable” y “Non-

Equilibrium Walls Functions”. A continuación, entrar en la pestaña de “Acoustics” y pinchar en la opción de “Broadband Noise Sources”.

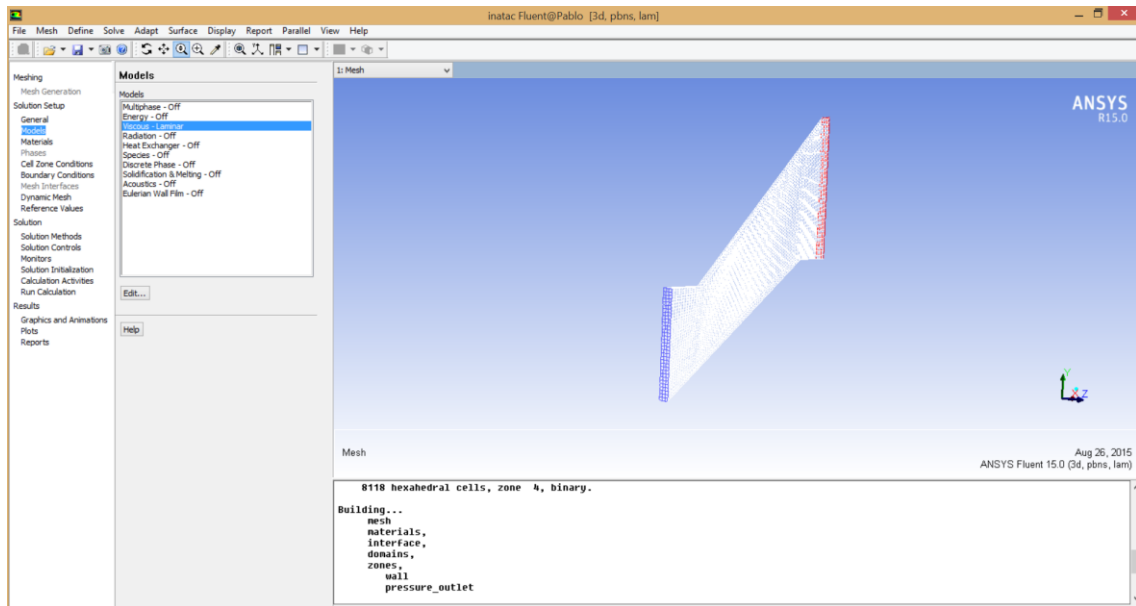


Ilustración 23: Cálculo del ruido regenerado 5

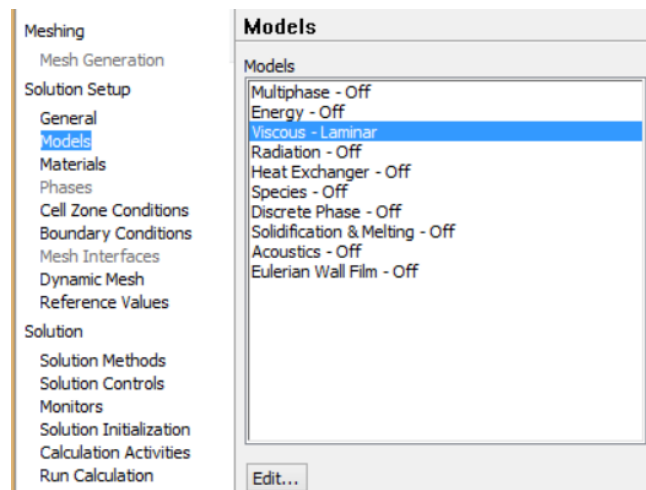


Ilustración 24: Cálculo del ruido regenerado 6

Posteriormente, en la pestaña de “Boundary Conditions”, se definirá la velocidad de entrada del fluido donde pone “velocity_inlet” (que será el parámetro a cambiar para comprobar la influencia en el ruido regenerado). Además, tendremos que definir la presión a la salida en la pestaña de “pressure_outlet”. Esta presión será de 100000 Pa (1 atm).

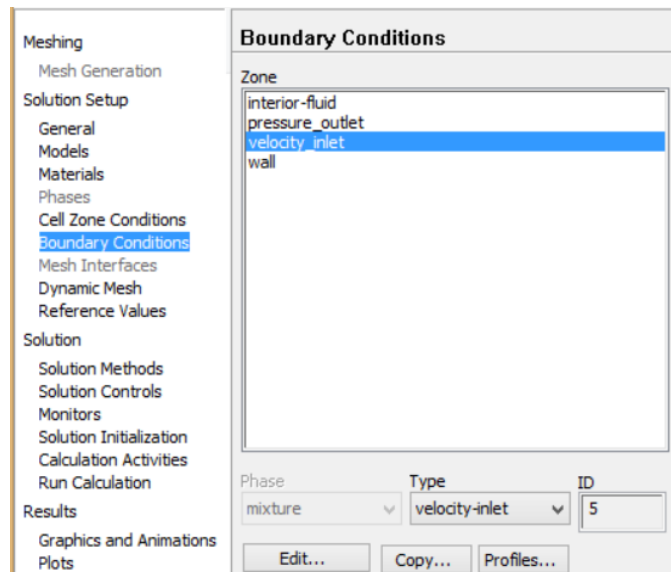


Ilustración 25: Cálculo del ruido regenerado 7

Definidos estos parámetros se está en disposición de solucionar el problema. Para ello, bastará con entrar en la pestaña “Run Calculation” y activar la opción de “Acoustic Power Level”. A continuación, habrá que entrar en “Graphics and Animations”, elegir la opción de “Contours” y definir de nuevo la opción de “Acoustic Power Level”. Automáticamente, se mostrarán los resultados del ruido regenerado en la rejilla.

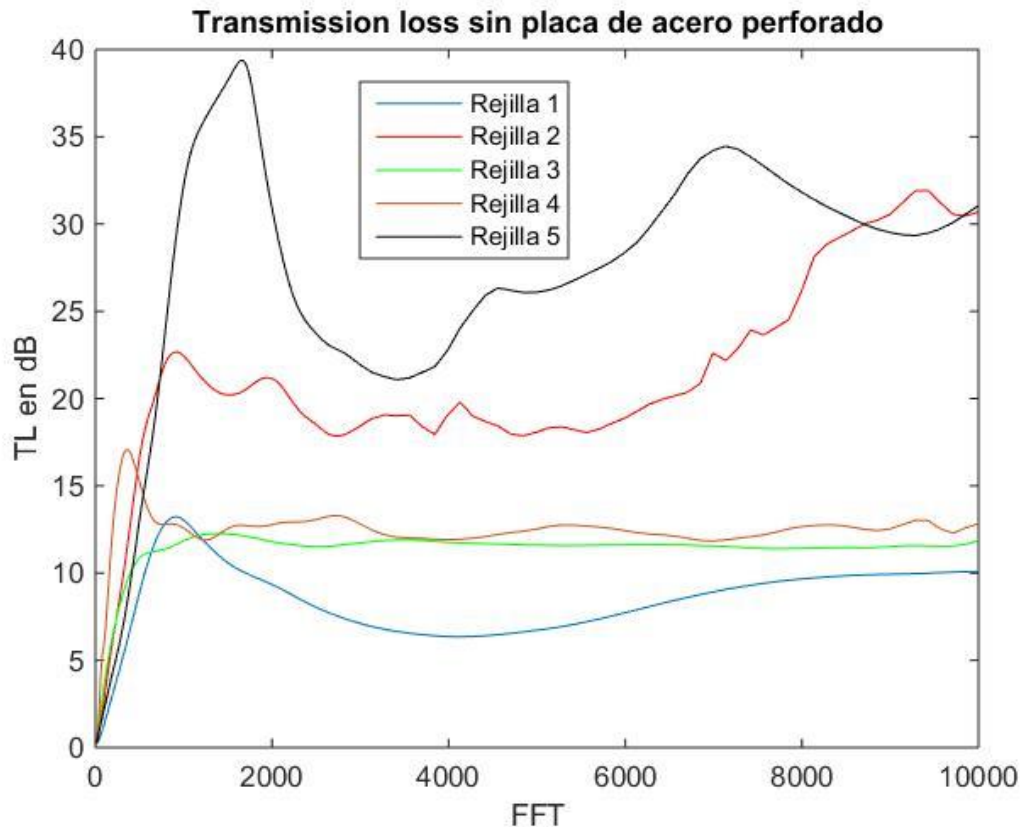
4. RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES

4.1. COMPARACIÓN ENTRE LOS 5 MODELOS DE REJILLAS

En este primer apartado se mostrarán los espectros de las 5 rejillas, así como su atenuación en tercio de octava. Todos los resultados han sido obtenidos sin tener en cuenta el caudal de aire.

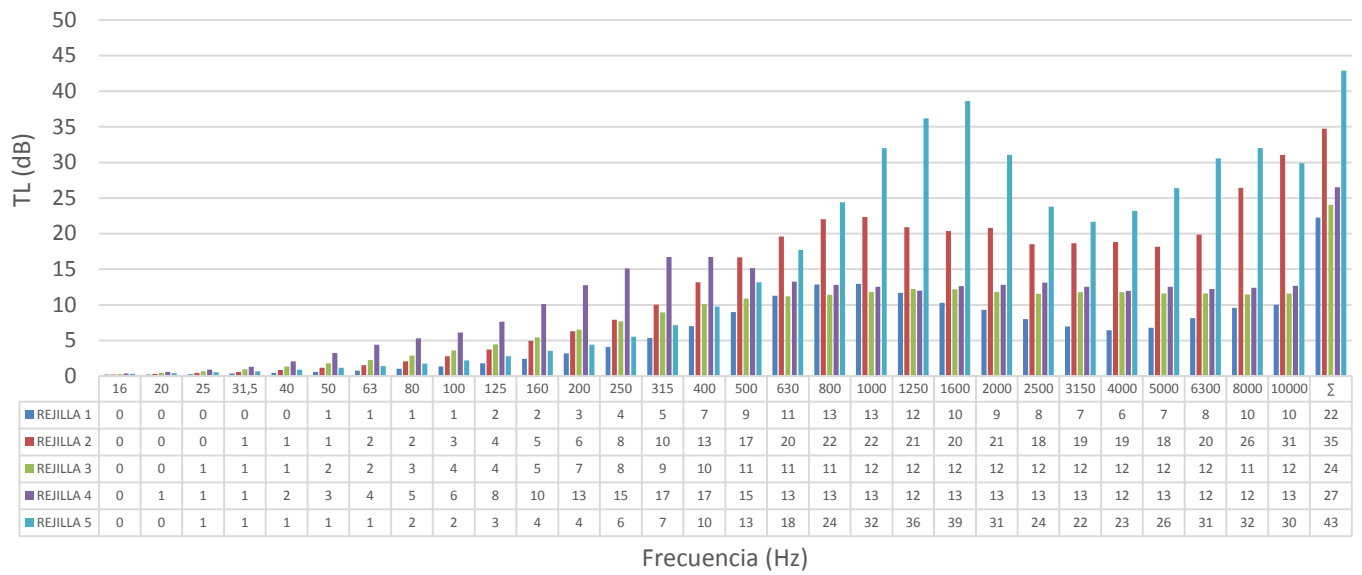
Primero se mostrarán los resultados en el caso de no haber placa de acero debajo de cada bafle de material absorbente. Posteriormente, se incluirán las gráficas correspondientes al caso en el que sí hay placa de acero perforada. Tras cada gráfica se podrá ver una tabla en la que se muestran determinados focos de ruido (ruido rosa, transformador, bomba centrífuga y compresor) junto con el efecto que tiene cada rejilla en ellos. De esta manera podremos ver la influencia de las 5 rejillas ante distintos ruidos y elegir la más adecuada en caso.

- Sin placa de acero:



Gráfica 3: TL sin placa

Transmission loss de los 5 tipos de rejilla sin placa de acero



Gráfica 4: TL en tercios de octava sin placa

	Σ	Atenuación total (dB)
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con rejilla 1	91	4
Ruido rosa con rejilla 2	89	5
Ruido rosa con rejilla 3	89	5
Ruido rosa con rejilla 4	88	7
Ruido rosa con rejilla 5	90	5

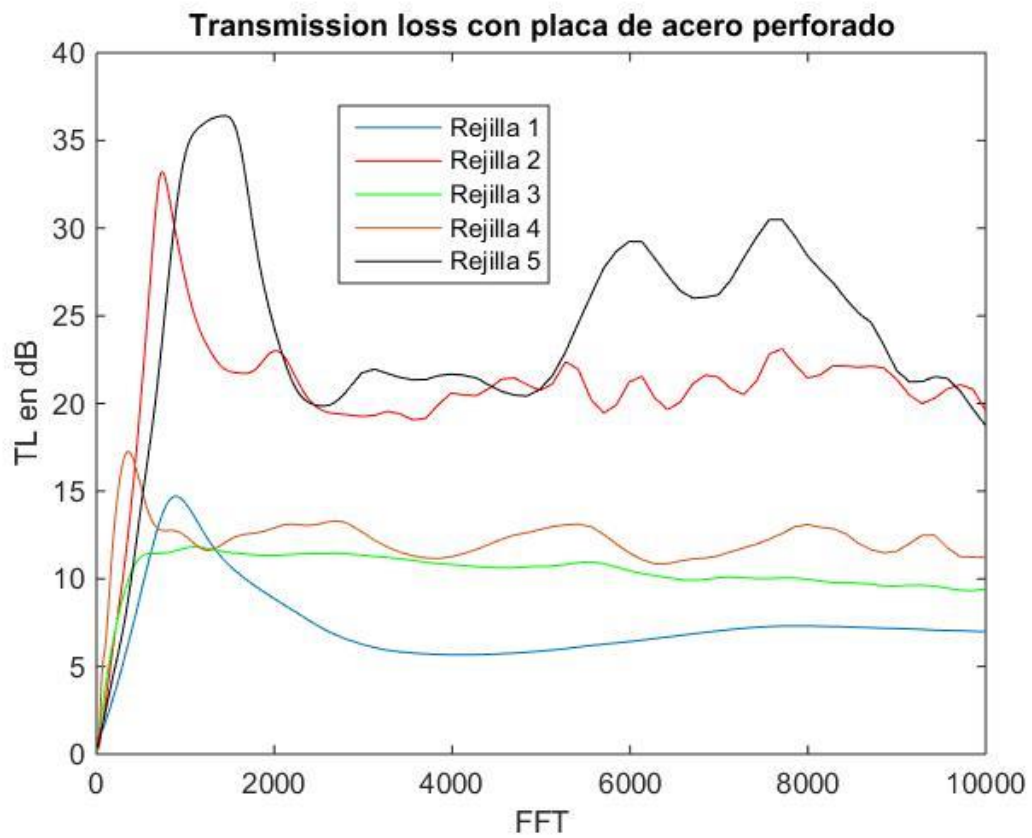
Frecuencia (Hz)	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con rejilla 1	102	6
Transformador con rejilla 2	98	10
Transformador con rejilla 3	99	9
Transformador con rejilla 4	94	13
Transformador con rejilla 5	100	8

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con rejilla 1	87	8
Bomba centrífuga con rejilla 2	81	14
Bomba centrífuga con rejilla 3	85	11
Bomba centrífuga con rejilla 4	82	13
Bomba centrífuga con rejilla 5	83	13

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con rejilla 1	93	6
Compresor con rejilla 2	90	9
Compresor con rejilla 3	91	8
Compresor con rejilla 4	89	10
Compresor con rejilla 5	91	8

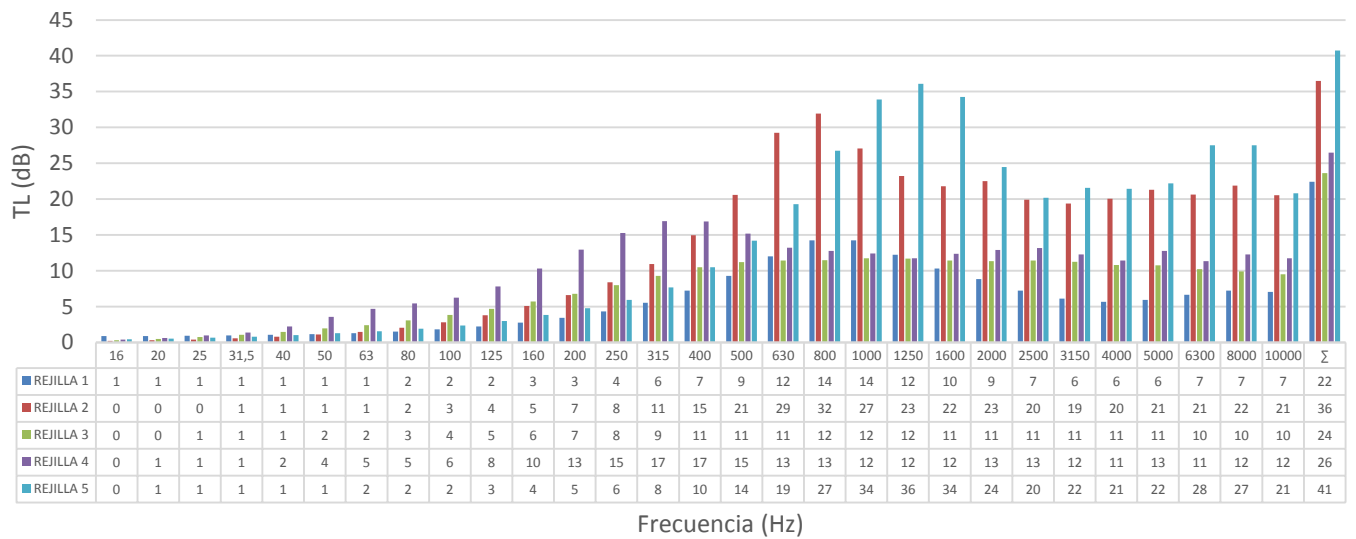
Tabla 4: Atenuación ruidos sin placa

- **Con placa de acero:**



Gráfica 5: TL con placa

Transmission loss de los 5 tipos de rejilla con placa de acero



Gráfica 6: TL en tercios de octava con placa

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con rejilla 1	91	4
Ruido rosa con rejilla 2	89	5
Ruido rosa con rejilla 3	89	5
Ruido rosa con rejilla 4	88	7
Ruido rosa con rejilla 5	89	5

	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con rejilla 1	101	6
Transformador con rejilla 2	97	10
Transformador con rejilla 3	99	9
Transformador con rejilla 4	94	13
Transformador con rejilla 5	99	8

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con rejilla 1	87	8
Bomba centrífuga con rejilla 2	80	15
Bomba centrífuga con rejilla 3	85	11
Bomba centrífuga con rejilla 4	82	13
Bomba centrífuga con rejilla 5	82	13

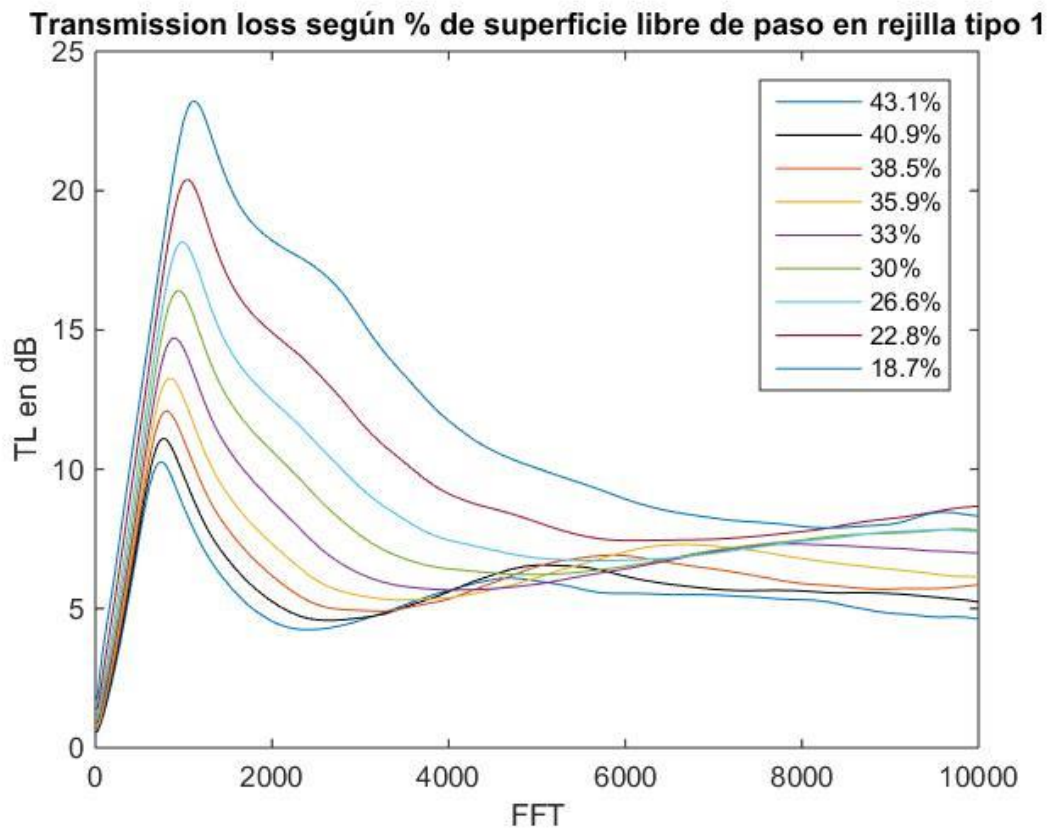
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con rejilla 1	93	6
Compresor con rejilla 2	90	9
Compresor con rejilla 3	91	8
Compresor con rejilla 4	89	10
Compresor con rejilla 5	91	8

Tabla 5: Atenuación ruidos con placa

4.2. VARIACIÓN DEL PASO DE AIRE ENTRE BAFLES

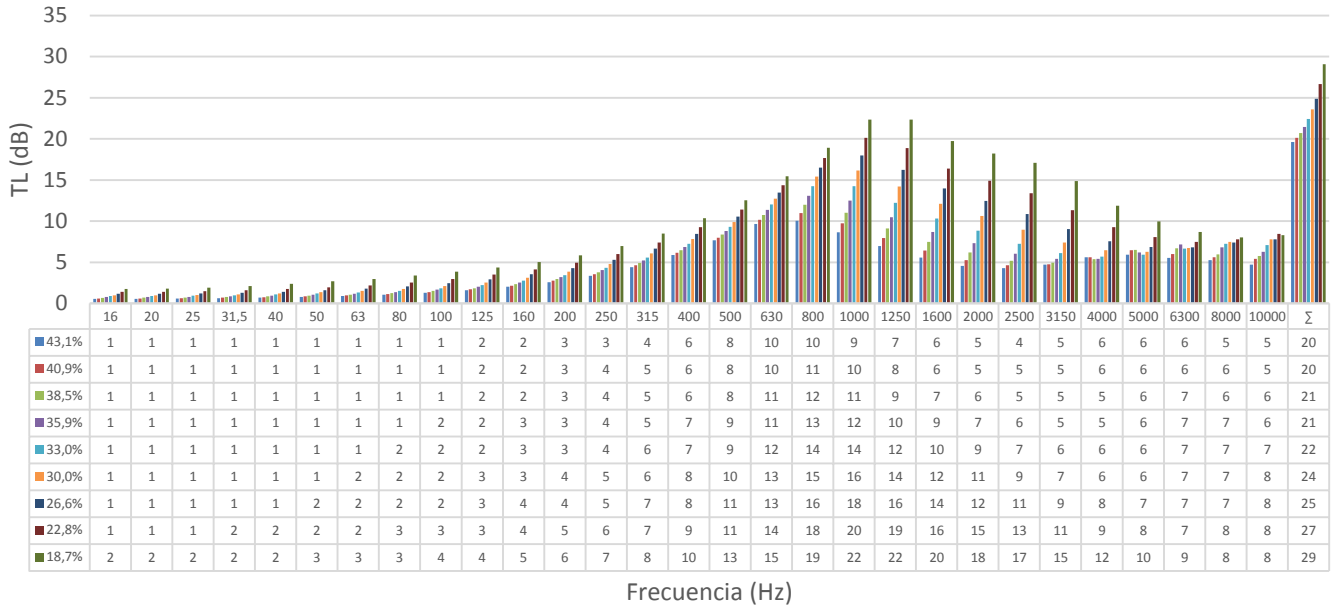
En este apartado se comprobará la importancia de la distancia existente entre los distintos bafles de cada rejilla. Se realizarán comparaciones en un rango de ± 40 mm respecto al valor por defecto de cada rejilla. Los resultados se mostrarán especificando el porcentaje de superficie de paso de aire libre. Todos los resultados han sido obtenidos sin tener en cuenta el caudal de aire.

- Rejilla tipo 1:



Gráfica 7: TL según paso de aire rejilla 1

Transmission loss según el % de superficie libre de paso de aire en la rejilla tipo 1



Gráfica 8: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 1

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 43,1%	91	3
Ruido rosa con 40,9%	91	3
Ruido rosa con 38,5%	91	4
Ruido rosa con 35,9%	91	4
Ruido rosa con 33%	91	4
Ruido rosa con 30%	90	4
Ruido rosa con 26,6%	90	5
Ruido rosa con 22,8%	89	5
Ruido rosa con 18,7%	89	6

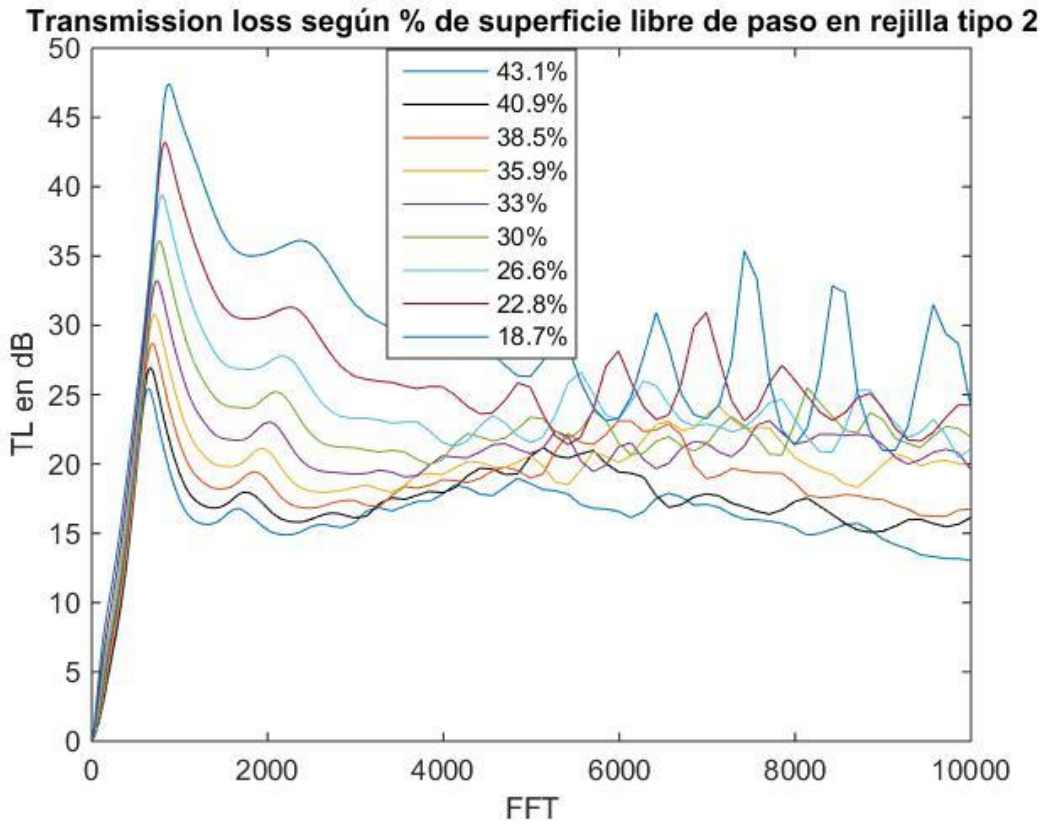
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 43,1%	102	5
Transformador con 40,9%	102	5
Transformador con 38,5%	102	6
Transformador con 35,9%	102	6
Transformador con 33%	101	6
Transformador con 30%	101	7
Transformador con 26,6%	100	7
Transformador con 22,8%	100	8
Transformador con 18,7%	99	9

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 43,1%	89	6
Bomba centrífuga con 40,9%	89	7
Bomba centrífuga con 38,5%	88	7
Bomba centrífuga con 35,9%	88	8
Bomba centrífuga con 33%	87	8
Bomba centrífuga con 30%	86	9
Bomba centrífuga con 26,6%	85	10
Bomba centrífuga con 22,8%	84	11
Bomba centrífuga con 18,7%	83	12

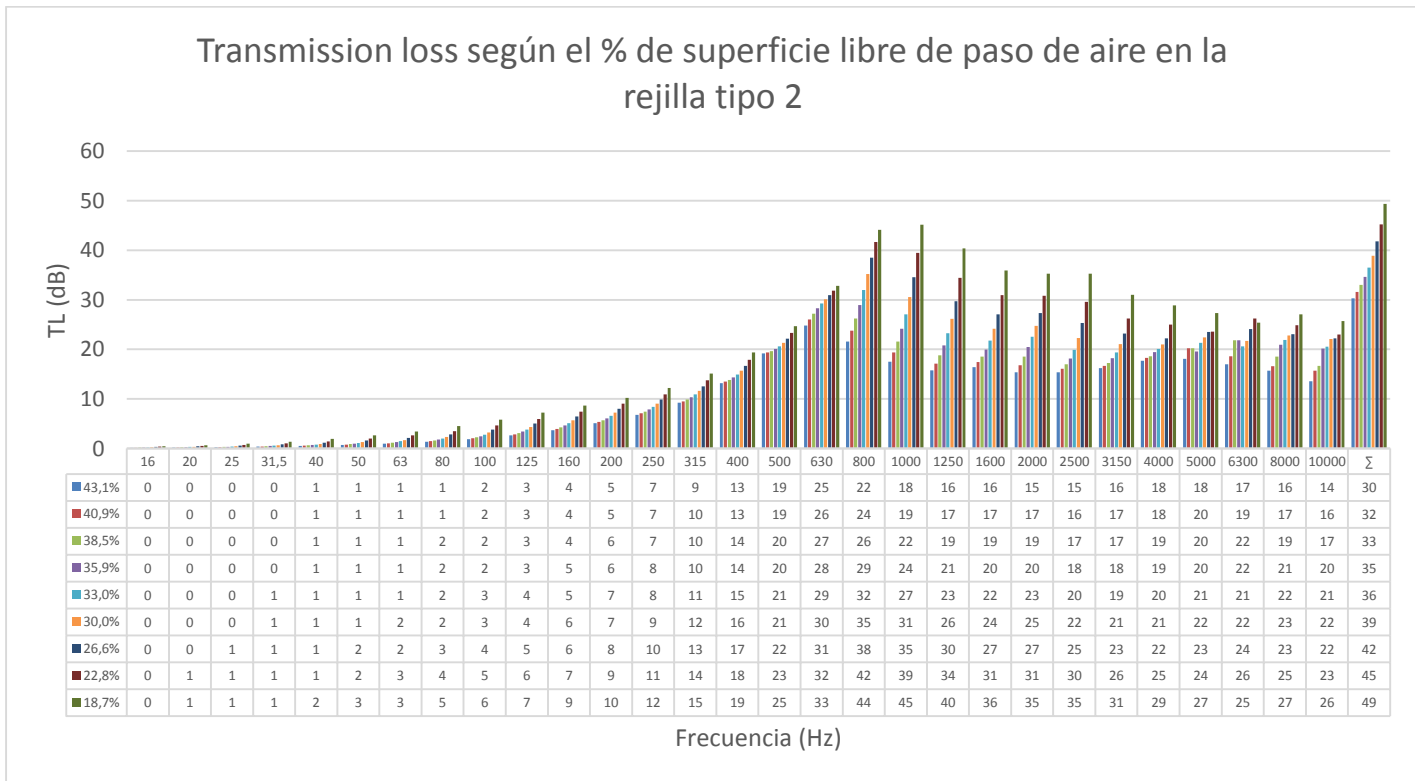
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 43,1%	95	5
Compresor con 40,9%	94	5
Compresor con 38,5%	94	5
Compresor con 35,9%	94	6
Compresor con 33%	93	6
Compresor con 30%	93	7
Compresor con 26,6%	92	7
Compresor con 22,8%	91	8
Compresor con 18,7%	90	9

Tabla 6: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 1

- **Rejilla tipo 2:**



Gráfica 9: TL según paso de aire rejilla 2



Gráfica 10: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 2

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 43,1%	90	5
Ruido rosa con 40,9%	90	5
Ruido rosa con 38,5%	90	5
Ruido rosa con 35,9%	89	5
Ruido rosa con 33%	89	5
Ruido rosa con 30%	89	6
Ruido rosa con 26,6%	89	6
Ruido rosa con 22,8%	88	6
Ruido rosa con 18,7%	88	7

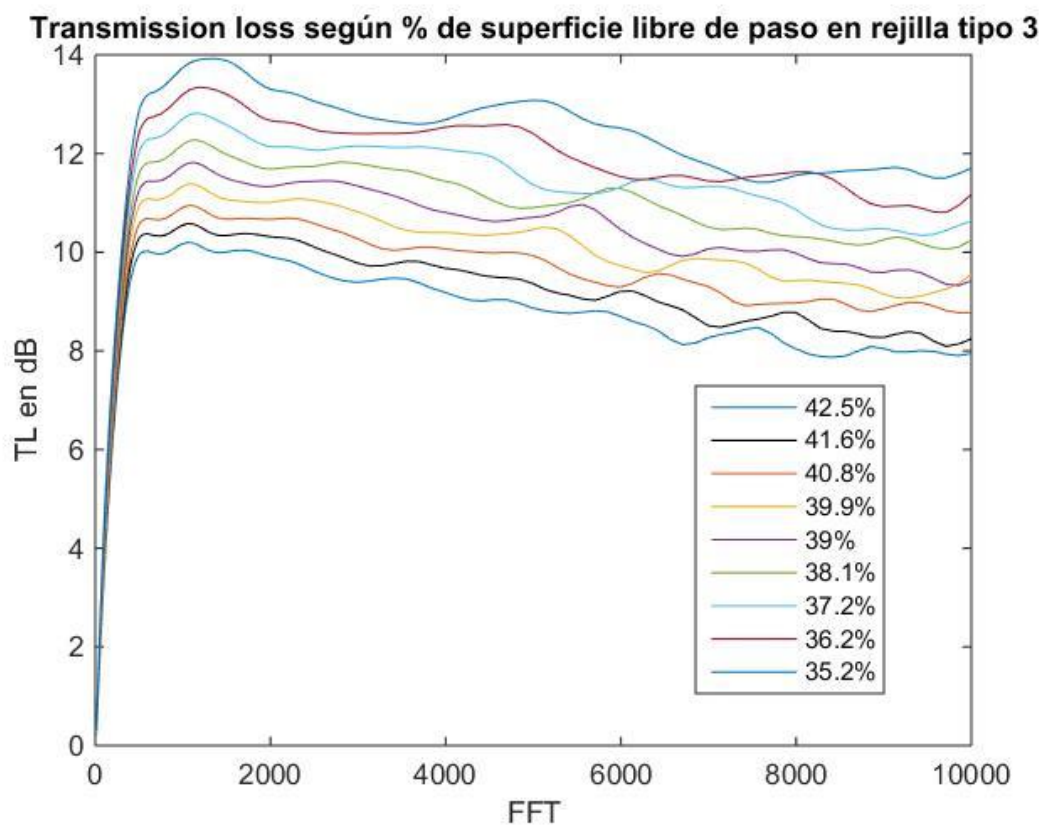
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 43,1%	98	9
Transformador con 40,9%	98	9
Transformador con 38,5%	98	10
Transformador con 35,9%	97	10
Transformador con 33%	97	10
Transformador con 30%	96	11
Transformador con 26,6%	96	12
Transformador con 22,8%	95	12
Transformador con 18,7%	94	14

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 43,1%	82	13
Bomba centrífuga con 40,9%	82	13
Bomba centrífuga con 38,5%	81	14
Bomba centrífuga con 35,9%	81	15
Bomba centrífuga con 33%	80	15
Bomba centrífuga con 30%	79	16
Bomba centrífuga con 26,6%	78	17
Bomba centrífuga con 22,8%	77	18
Bomba centrífuga con 18,7%	76	19

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 43,1%	91	8
Compresor con 40,9%	91	8
Compresor con 38,5%	91	8
Compresor con 35,9%	90	9
Compresor con 33%	90	9
Compresor con 30%	90	9
Compresor con 26,6%	89	10
Compresor con 22,8%	88	11
Compresor con 18,7%	88	12

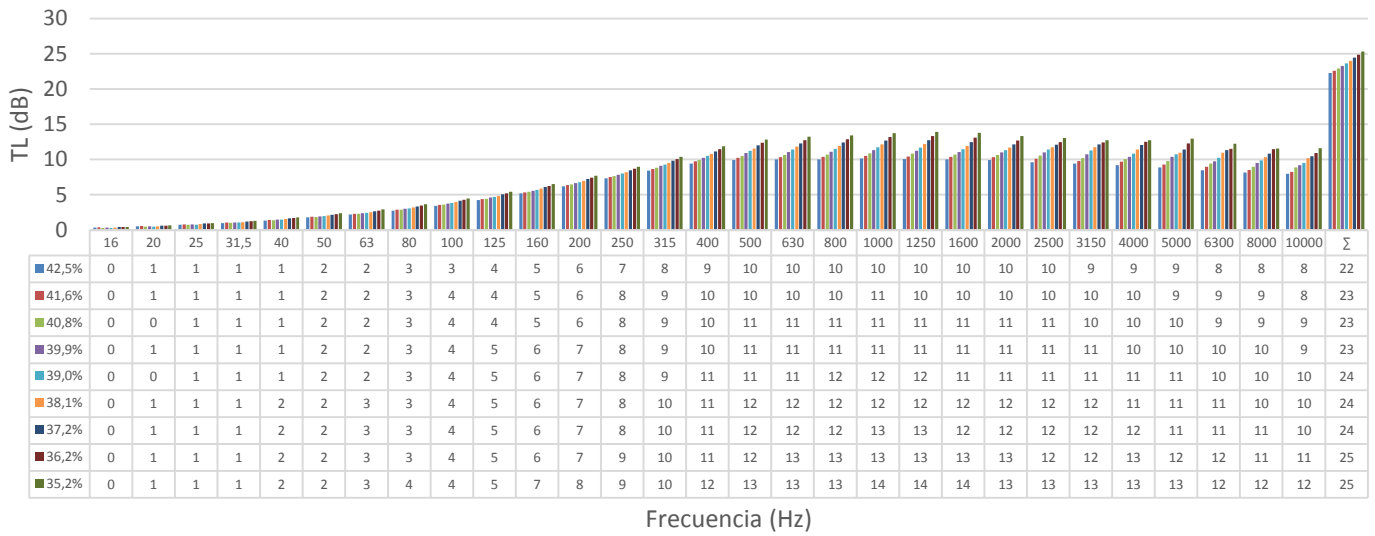
Tabla 7: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 2

- **Rejilla tipo 3:**



Gráfica 11: TL según paso de aire rejilla 3

Transmission loss según el % de superficie libre de paso de aire en la rejilla tipo 3



Gráfica 12: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 3

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 42,5%	90	5
Ruido rosa con 41,6%	90	5
Ruido rosa con 40,8%	90	5
Ruido rosa con 39,9%	89	5
Ruido rosa con 39%	89	5
Ruido rosa con 38,1%	89	5
Ruido rosa con 37,2%	89	6
Ruido rosa con 36,2%	89	6
Ruido rosa con 35,2%	89	6

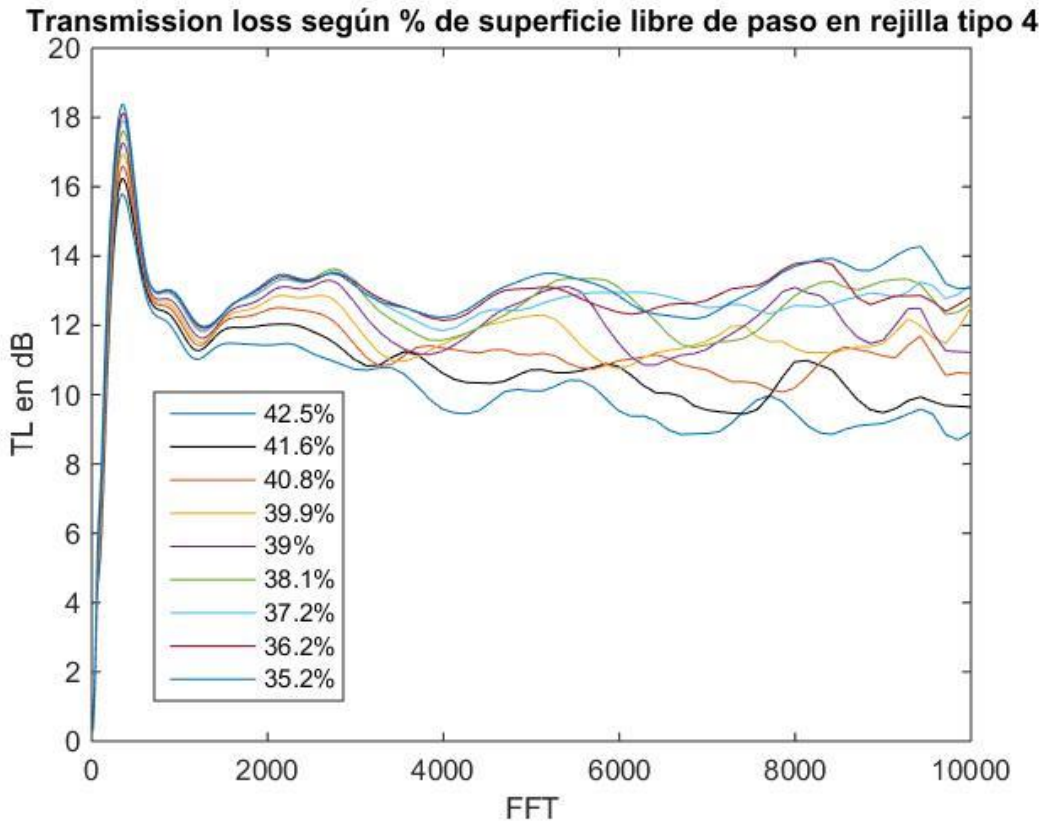
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 42,5%	99	8
Transformador con 41,6%	99	8
Transformador con 40,8%	99	8
Transformador con 39,9%	99	9
Transformador con 39%	99	9
Transformador con 38,1%	98	9
Transformador con 37,2%	98	9
Transformador con 36,2%	98	10
Transformador con 35,2%	97	10

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 42,5%	86	9
Bomba centrífuga con 41,6%	86	10
Bomba centrífuga con 40,8%	85	10
Bomba centrífuga con 39,9%	85	10
Bomba centrífuga con 39%	85	11
Bomba centrífuga con 38,1%	84	11
Bomba centrífuga con 37,2%	84	11
Bomba centrífuga con 36,2%	84	12
Bomba centrífuga con 35,2%	83	12

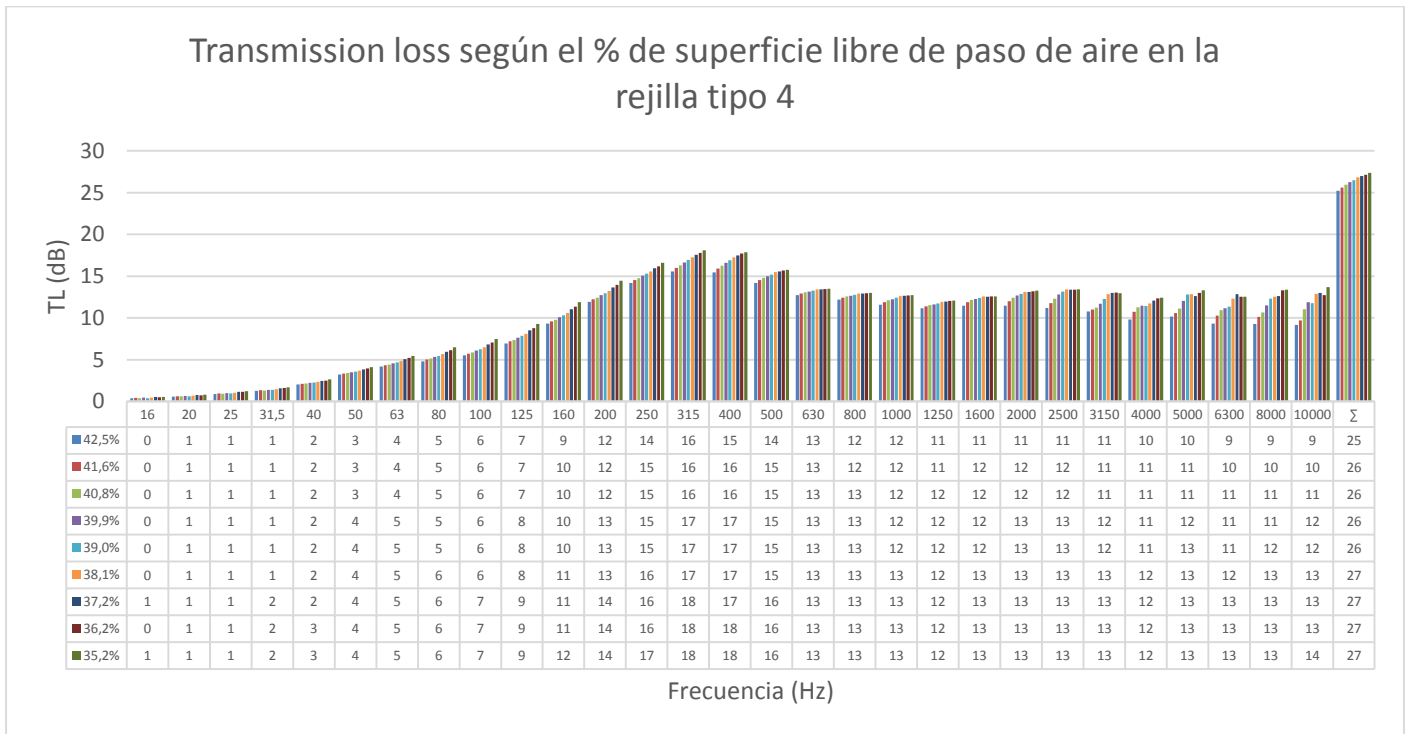
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 42,5%	92	7
Compresor con 41,6%	92	8
Compresor con 40,8%	91	8
Compresor con 39,9%	91	8
Compresor con 39%	91	8
Compresor con 38,1%	91	8
Compresor con 37,2%	91	9
Compresor con 36,2%	90	9
Compresor con 35,2%	90	9

Tabla 8: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 3

- **Rejilla tipo 4:**



Gráfica 13: TL según paso de aire rejilla 4



Gráfica 14: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 4

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con rejilla 1	89	6
Ruido rosa con rejilla 2	88	6
Ruido rosa con rejilla 3	88	6
Ruido rosa con rejilla 4	88	7
Ruido rosa con rejilla 5	88	7
Ruido rosa con rejilla 6	88	7
Ruido rosa con rejilla 7	88	7
Ruido rosa con rejilla 8	88	7
Ruido rosa con rejilla 9	88	7

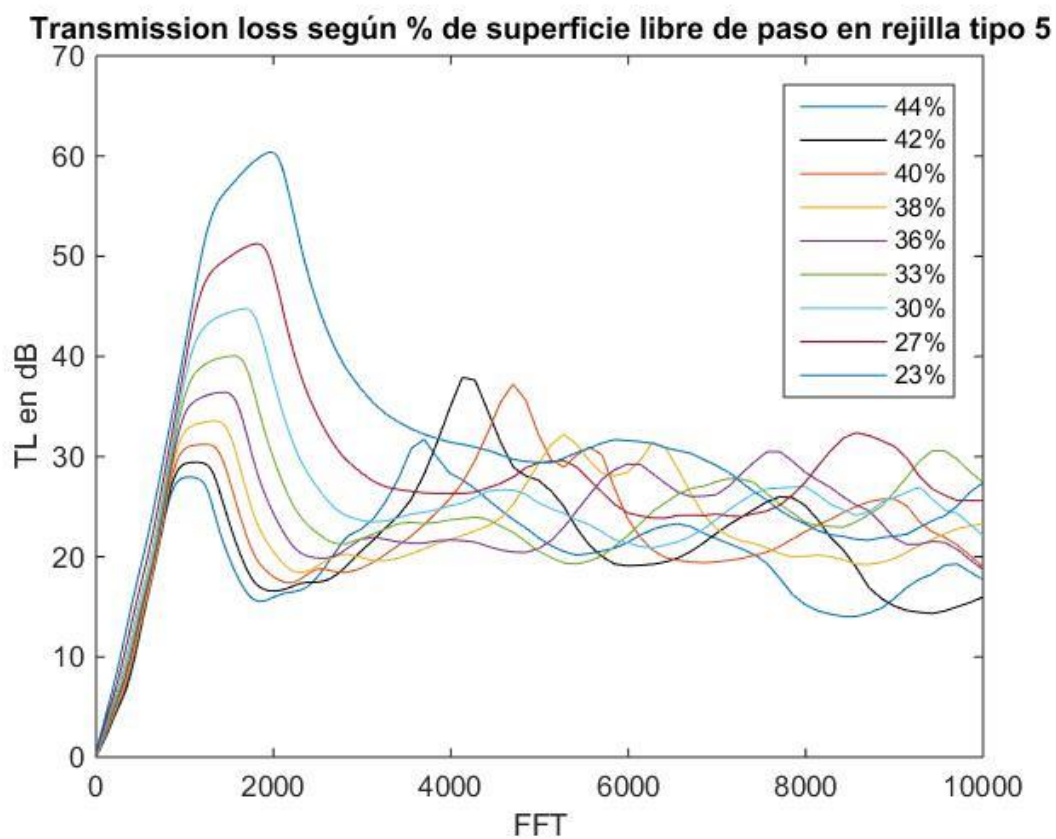
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con rejilla 1	95	12
Transformador con rejilla 2	95	13
Transformador con rejilla 3	94	13
Transformador con rejilla 4	94	13
Transformador con rejilla 5	94	13
Transformador con rejilla 6	94	14
Transformador con rejilla 7	94	14
Transformador con rejilla 8	94	14
Transformador con rejilla 9	93	14

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con rejilla 1	83	12
Bomba centrífuga con rejilla 2	83	12
Bomba centrífuga con rejilla 3	83	13
Bomba centrífuga con rejilla 4	82	13
Bomba centrífuga con rejilla 5	82	13
Bomba centrífuga con rejilla 6	82	13
Bomba centrífuga con rejilla 7	82	13
Bomba centrífuga con rejilla 8	82	13
Bomba centrífuga con rejilla 9	82	14

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con rejilla 1	90	10
Compresor con rejilla 2	89	10
Compresor con rejilla 3	89	10
Compresor con rejilla 4	89	10
Compresor con rejilla 5	89	10
Compresor con rejilla 6	89	11
Compresor con rejilla 7	88	11
Compresor con rejilla 8	88	11
Compresor con rejilla 9	88	11

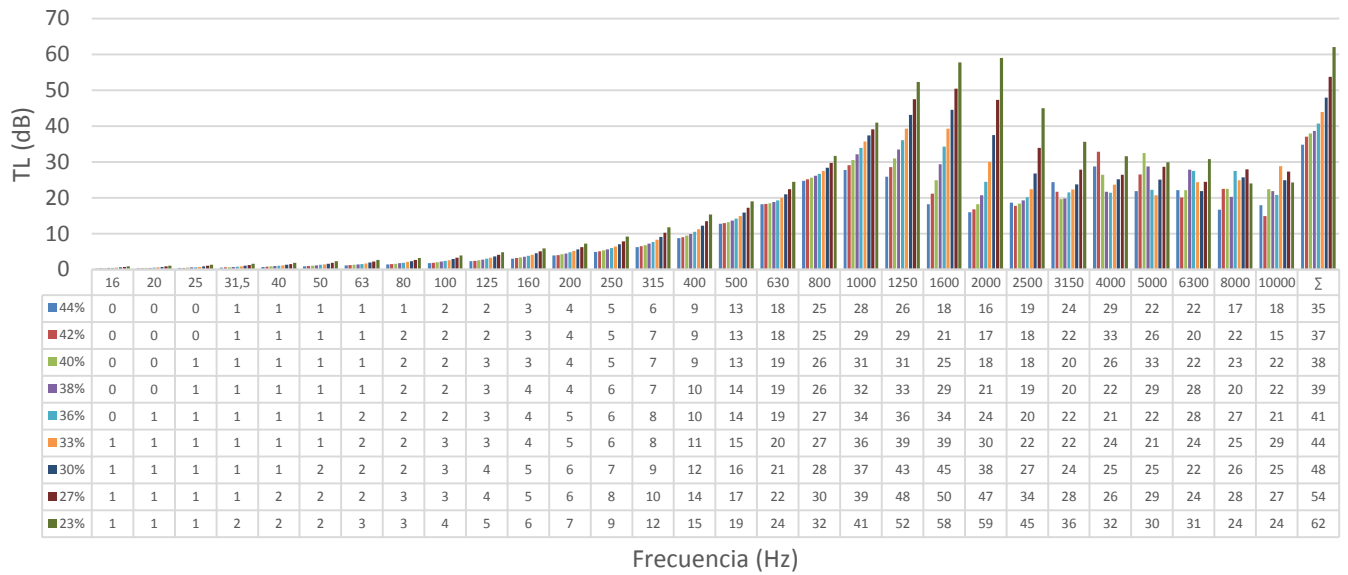
Tabla 9: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 4

- **Rejilla tipo 5:**



Gráfica 15: TL según paso de aire rejilla 5

Transmission loss según el % de superficie libre de paso de aire en la rejilla tipo 5



Gráfica 16: TL en tercios de octava según paso de aire rejilla 5

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 44%	90	5
Ruido rosa con 42%	90	5
Ruido rosa con 40%	90	5
Ruido rosa con 38%	90	5
Ruido rosa con 36%	89	5
Ruido rosa con 33%	89	5
Ruido rosa con 30%	89	6
Ruido rosa con 27%	89	6
Ruido rosa con 23%	88	6

	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 44%	100	7
Transformador con 42%	100	7
Transformador con 40%	100	8
Transformador con 38%	100	8
Transformador con 36%	99	8
Transformador con 33%	99	9
Transformador con 30%	98	9
Transformador con 27%	97	10
Transformador con 23%	96	11

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 44%	84	12
Bomba centrífuga con 42%	83	12
Bomba centrífuga con 40%	83	12
Bomba centrífuga con 38%	83	13
Bomba centrífuga con 36%	82	13
Bomba centrífuga con 33%	82	13
Bomba centrífuga con 30%	81	14
Bomba centrífuga con 27%	80	15
Bomba centrífuga con 23%	79	16

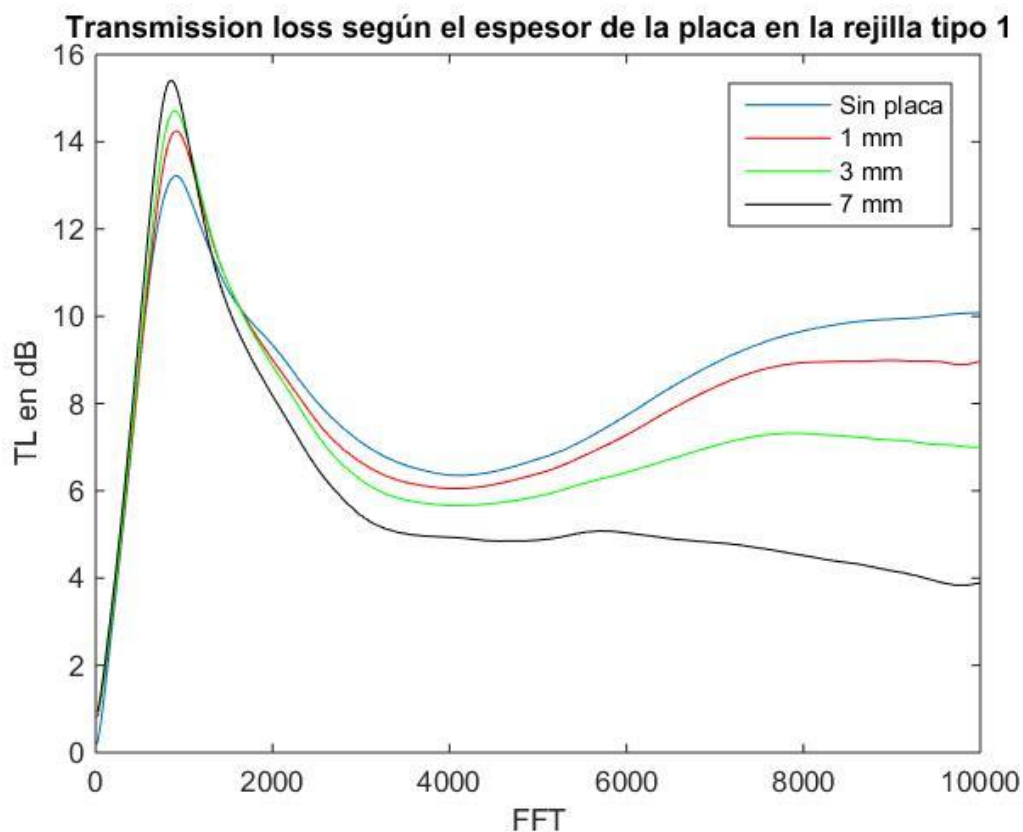
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 44%	92	7
Compresor con 42%	92	8
Compresor con 40%	91	8
Compresor con 38%	91	8
Compresor con 36%	91	8
Compresor con 33%	91	9
Compresor con 30%	90	9
Compresor con 27%	90	9
Compresor con 23%	89	10

Tabla 10: Atenuación ruidos según paso de aire rejilla 5

4.3. VARIACIÓN DEL ESPESOR DE LA PLACA PERFORADA

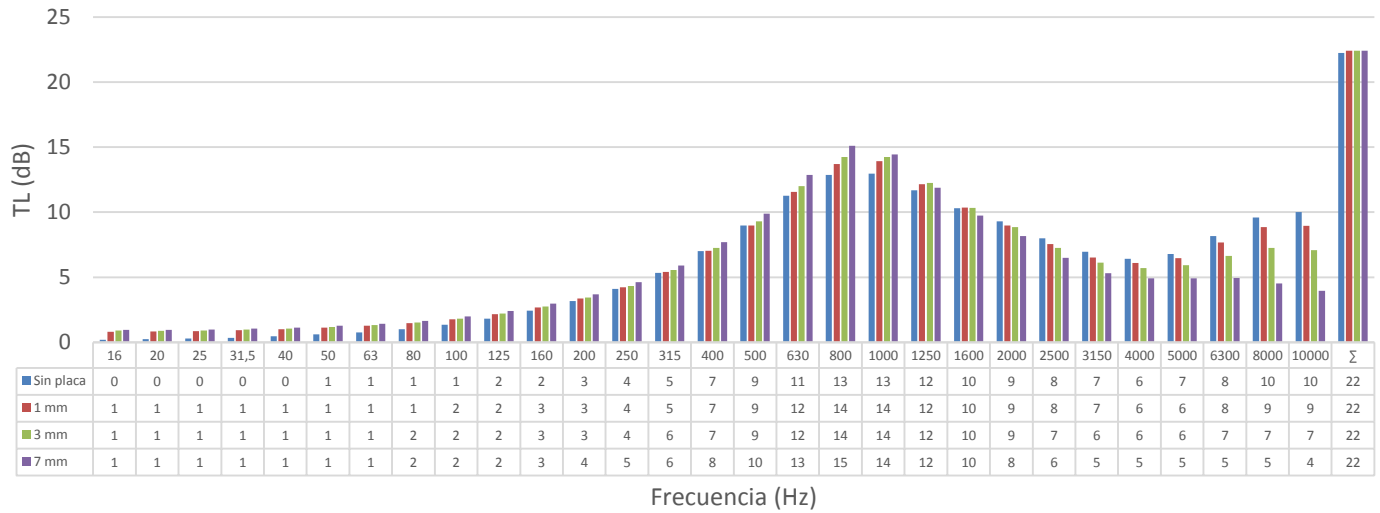
En este apartado se medirá la influencia del espesor de la placa de acero perforada. Se tomarán espesores de 1 mm, 3 mm y 7 mm, comparándose también con el caso en el que no hay placa perforada (espesor de placa de 0 mm). En todos los casos el diámetro de los agujeros y la distancia entre los mismos se mantiene constante, conservándose de esta forma la superficie de paso de la placa perforada (excepto en el caso en el que no hay placa, ya que la superficie de paso sería del 100%). Todos los resultados han sido obtenidos sin tener en cuenta el caudal de aire. Posteriormente se mostrará la influencia de este parámetro en la atenuación ante los distintos focos de ruido explicados anteriormente (ruido rosa, transformador, bomba centrífuga y compresor).

- **Rejilla tipo 1:**



Gráfica 17: TL según espesor de la placa rejilla 1

Transmission loss según el espesor de la placa de acero en la rejilla tipo 1



Gráfica 18: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 1

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa sin placa	91	4
Ruido rosa con 1 mm	91	4
Ruido rosa con 3 mm	91	4
Ruido rosa con 7 mm	91	4

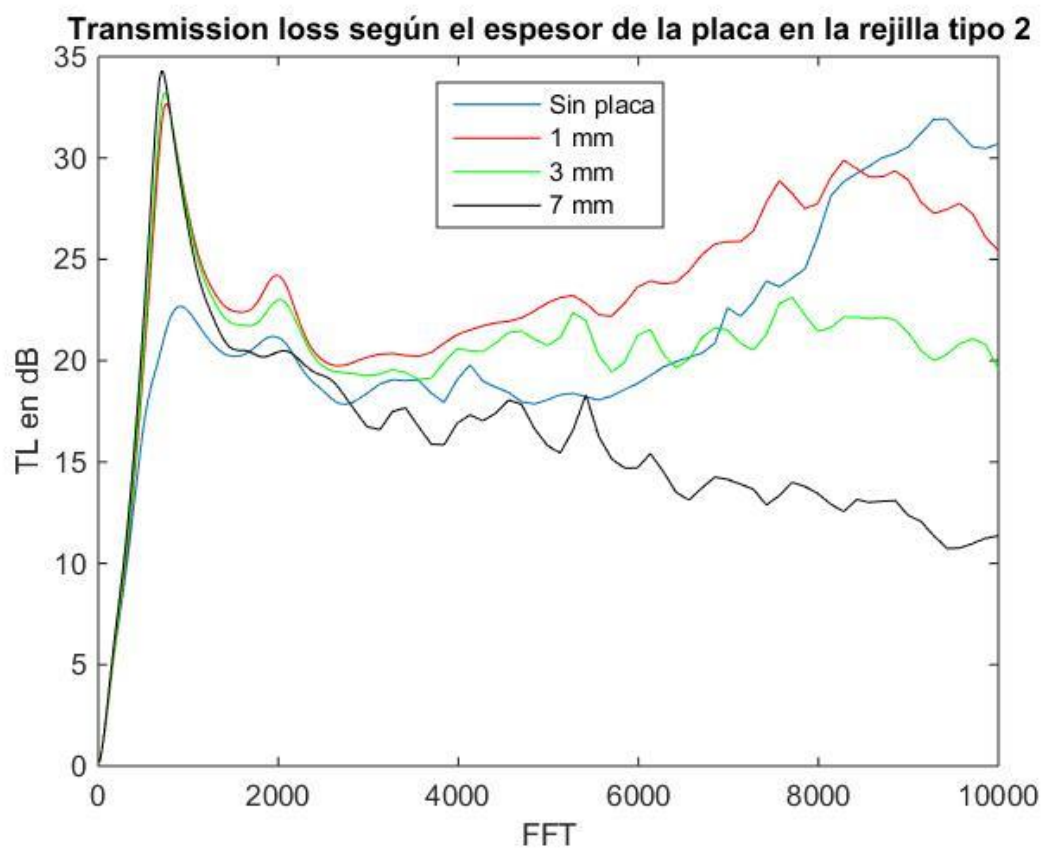
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador sin placa	102	6
Transformador con 1 mm	101	6
Transformador con 3 mm	101	6
Transformador con 7 mm	101	6

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga sin placa	87	8
Bomba centrífuga con 1 mm	87	8
Bomba centrífuga con 3 mm	87	8
Bomba centrífuga con 7 mm	87	8

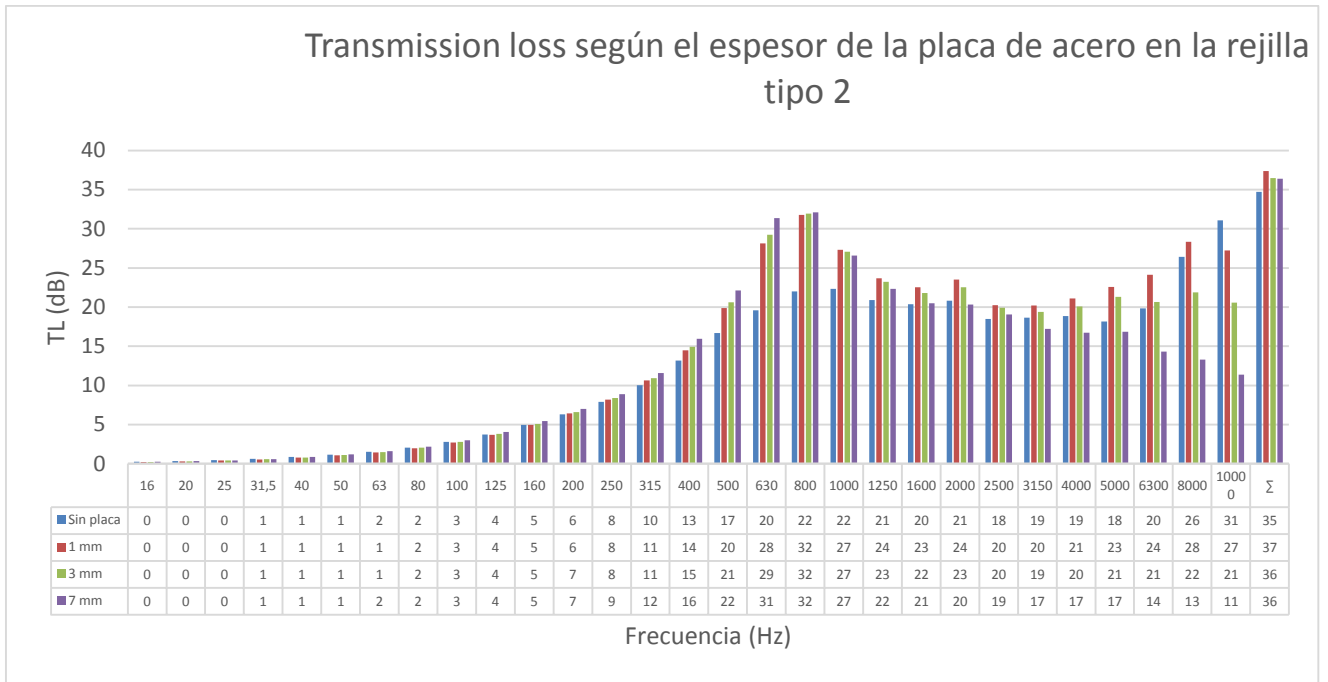
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor sin placa	93	6
Compresor con 1 mm	93	6
Compresor con 3 mm	93	6
Compresor con 7 mm	93	6

Tabla 11: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 1

- **Rejilla tipo 2:**



Gráfica 19: TL según espesor placa rejilla 2



Gráfica 20: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 2

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa sin placa	89	5
Ruido rosa con 1 mm	89	5
Ruido rosa con 3 mm	89	5
Ruido rosa con 7 mm	89	5

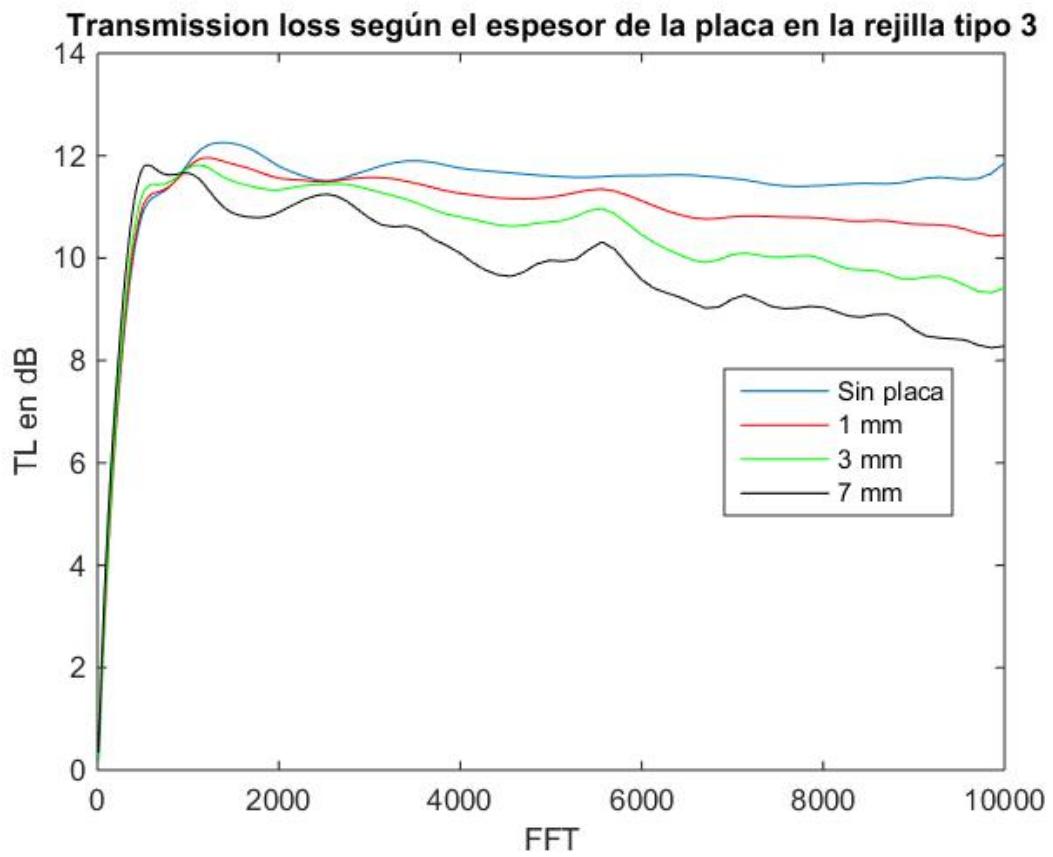
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador sin placa	98	10
Transformador con 1 mm	97	10
Transformador con 3 mm	97	10
Transformador con 7 mm	97	11

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga sin placa	81	14
Bomba centrífuga con 1 mm	80	15
Bomba centrífuga con 3 mm	80	15
Bomba centrífuga con 7 mm	80	15

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor sin placa	90	9
Compresor con 1 mm	90	9
Compresor con 3 mm	90	9
Compresor con 7 mm	90	9

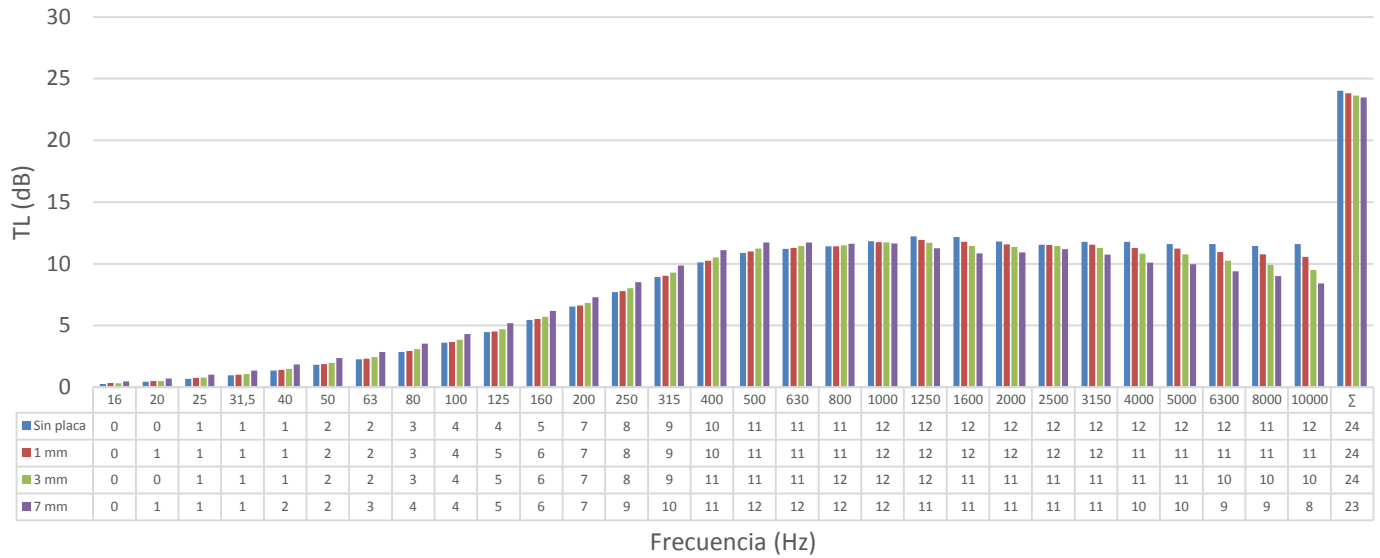
Tabla 12: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 2

- **Rejilla tipo 3:**



Gráfica 21: TL según espesor placa rejilla 3

Transmission loss según el espesor de la placa de acero en la rejilla tipo 3



Gráfica 22: TL en tercios de octava según espesor rejilla 3

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa sin placa	89	5
Ruido rosa con 1 mm	89	5
Ruido rosa con 3 mm	89	5
Ruido rosa con 7 mm	89	6

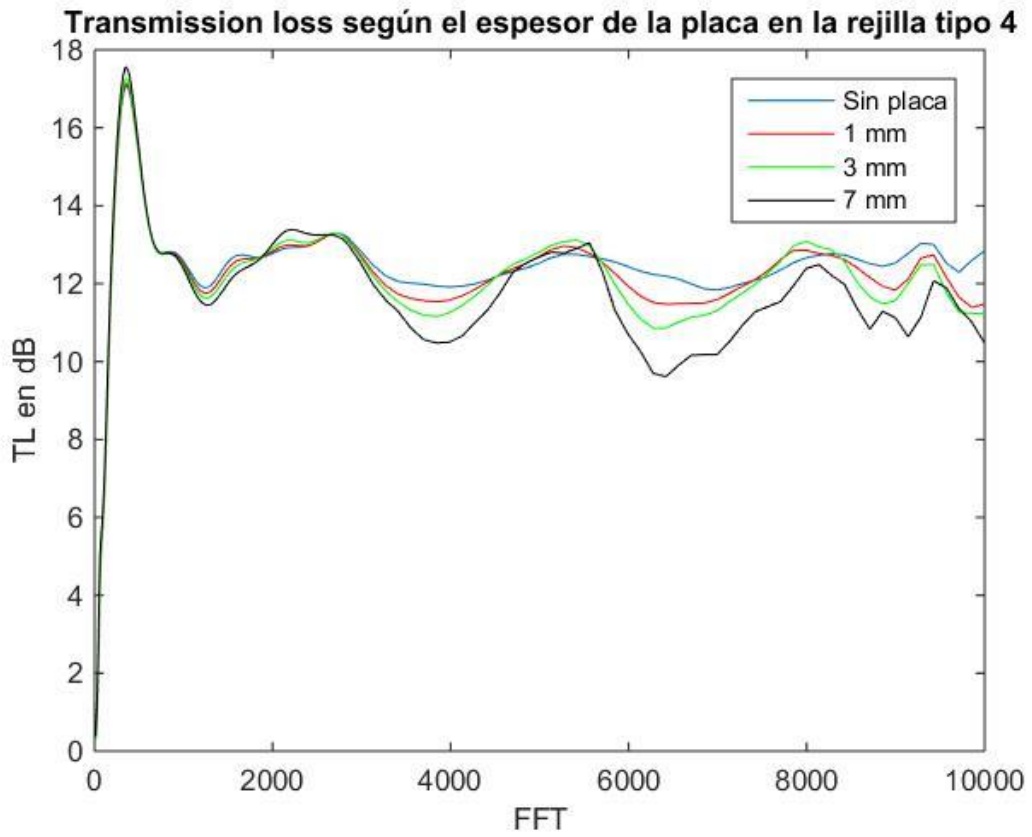
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador sin placa	99	9
Transformador con 1 mm	99	9
Transformador con 3 mm	99	9
Transformador con 7 mm	98	9

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga sin placa	85	11
Bomba centrífuga con 1 mm	85	11
Bomba centrífuga con 3 mm	85	11
Bomba centrífuga con 7 mm	85	11

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor sin placa	91	8
Compresor con 1 mm	91	8
Compresor con 3 mm	91	8
Compresor con 7 mm	91	8

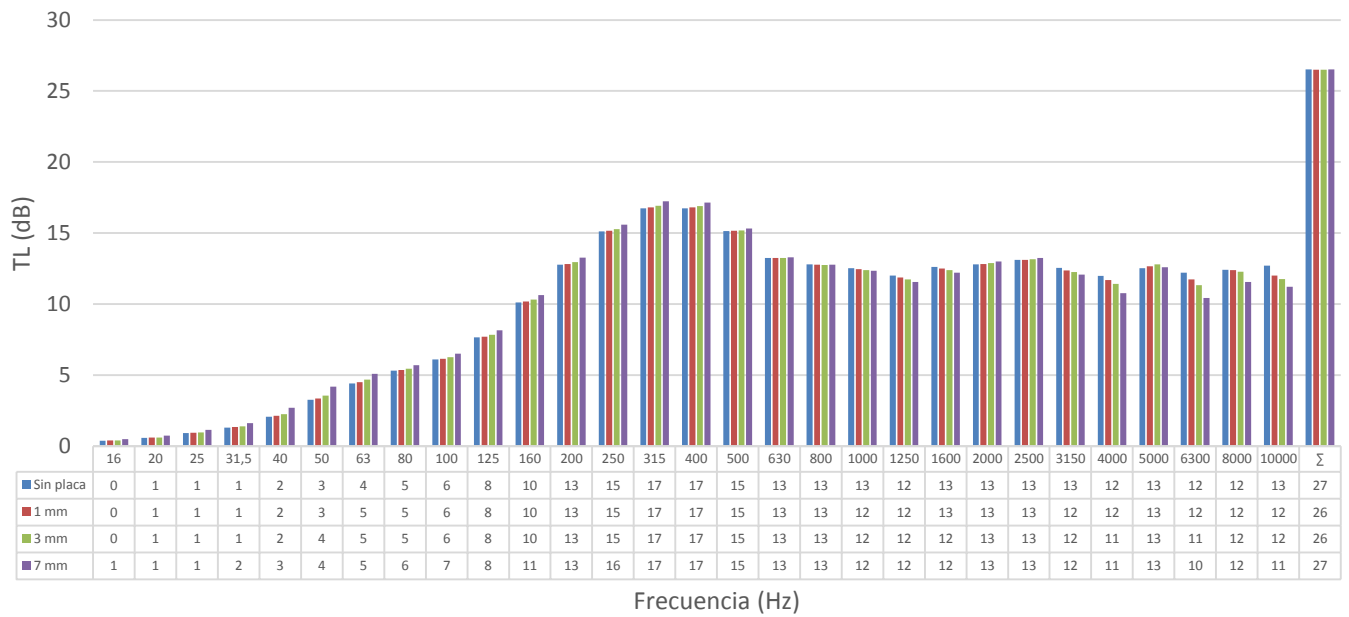
Tabla 13: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 3

- **Rejilla tipo 4:**



Gráfica 23: TL según espesor placa rejilla 4

Transmission loss según el espesor de la placa de acero en la rejilla tipo 4



Gráfica 24: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 4

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa sin placa	88	7
Ruido rosa con 1 mm	88	7
Ruido rosa con 3 mm	88	7
Ruido rosa con 7 mm	88	7

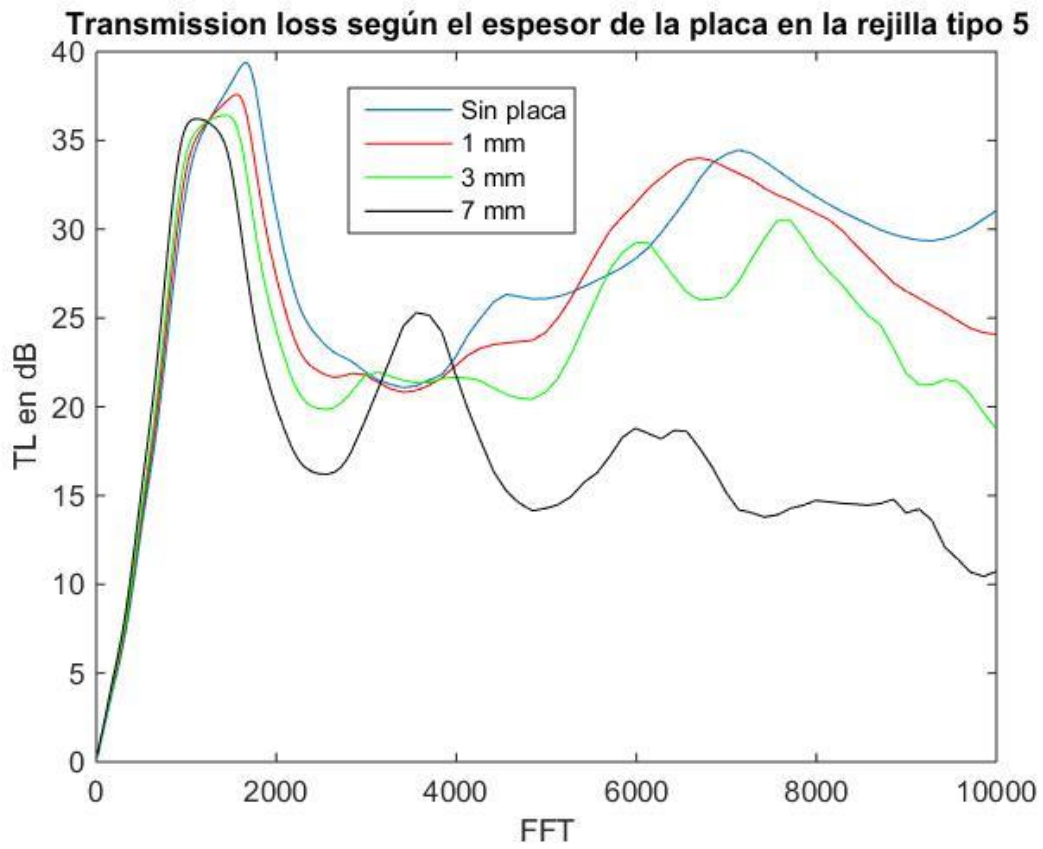
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador sin placa	94	13
Transformador con 1 mm	94	13
Transformador con 3 mm	94	13
Transformador con 7 mm	94	14

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga sin placa	82	13
Bomba centrífuga con 1 mm	82	13
Bomba centrífuga con 3 mm	82	13
Bomba centrífuga con 7 mm	82	13

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor sin placa	89	10
Compresor con 1 mm	89	10
Compresor con 3 mm	89	10
Compresor con 7 mm	89	11

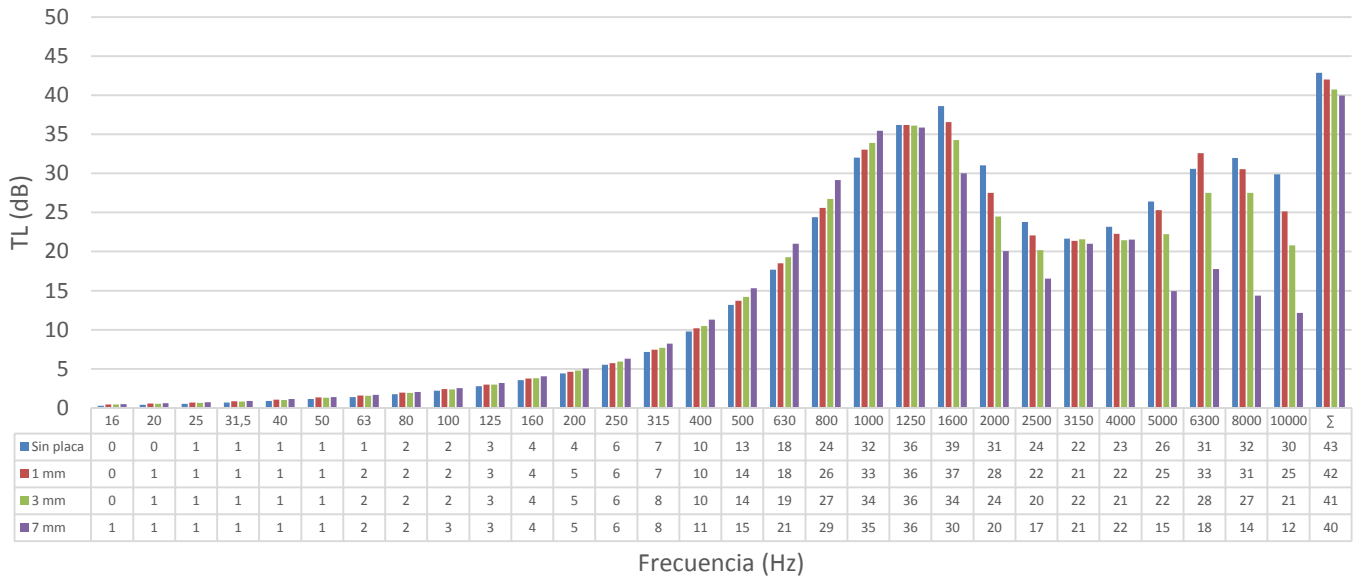
Tabla 14: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 4

- **Rejilla tipo 5:**



Gráfica 25: TL según espesor placa rejilla 5

Transmission loss según el espesor de la placa de acero en la rejilla tipo 5



Gráfica 26: TL en tercios de octava según espesor placa rejilla 5

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa sin placa	90	5
Ruido rosa con 1 mm	89	5
Ruido rosa con 3 mm	89	5
Ruido rosa con 7 mm	89	5

	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador sin placa	100	8
Transformador con 1 mm	99	8
Transformador con 3 mm	99	8
Transformador con 7 mm	99	9

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga sin placa	83	13
Bomba centrífuga con 1 mm	83	13
Bomba centrífuga con 3 mm	82	13
Bomba centrífuga con 7 mm	82	13

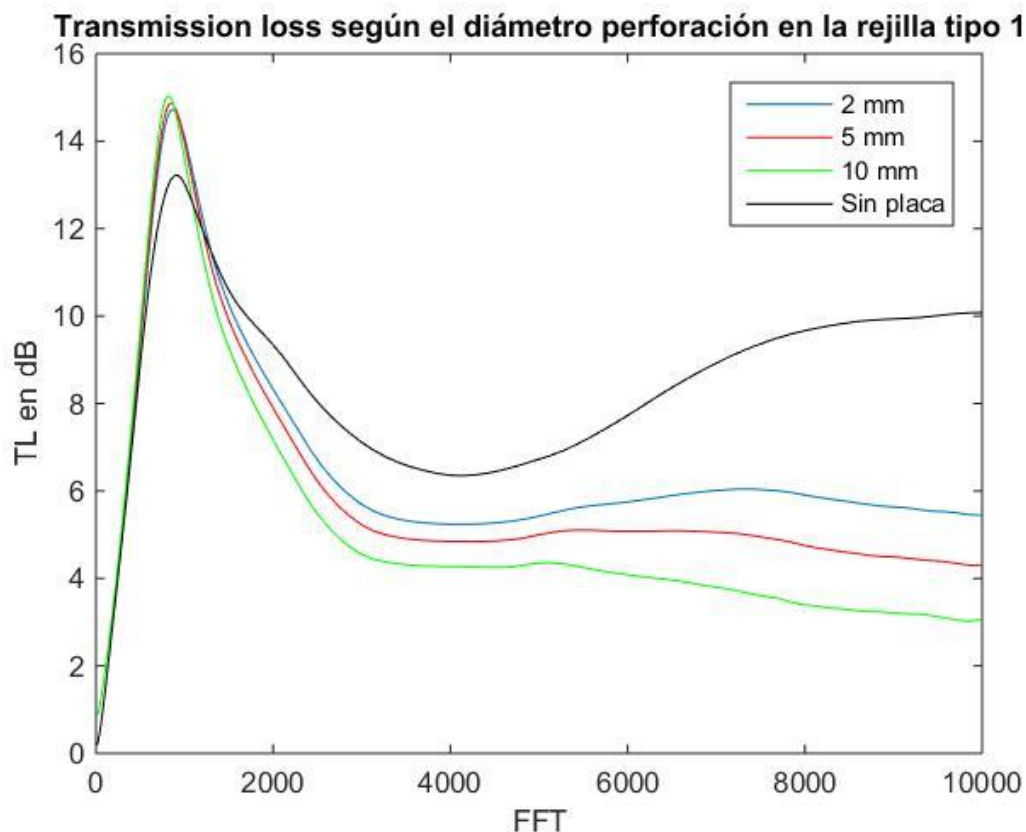
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor sin placa	91	8
Compresor con 1 mm	91	8
Compresor con 3 mm	91	8
Compresor con 7 mm	91	8

Tabla 15: Atenuación ruidos según espesor placa rejilla 5

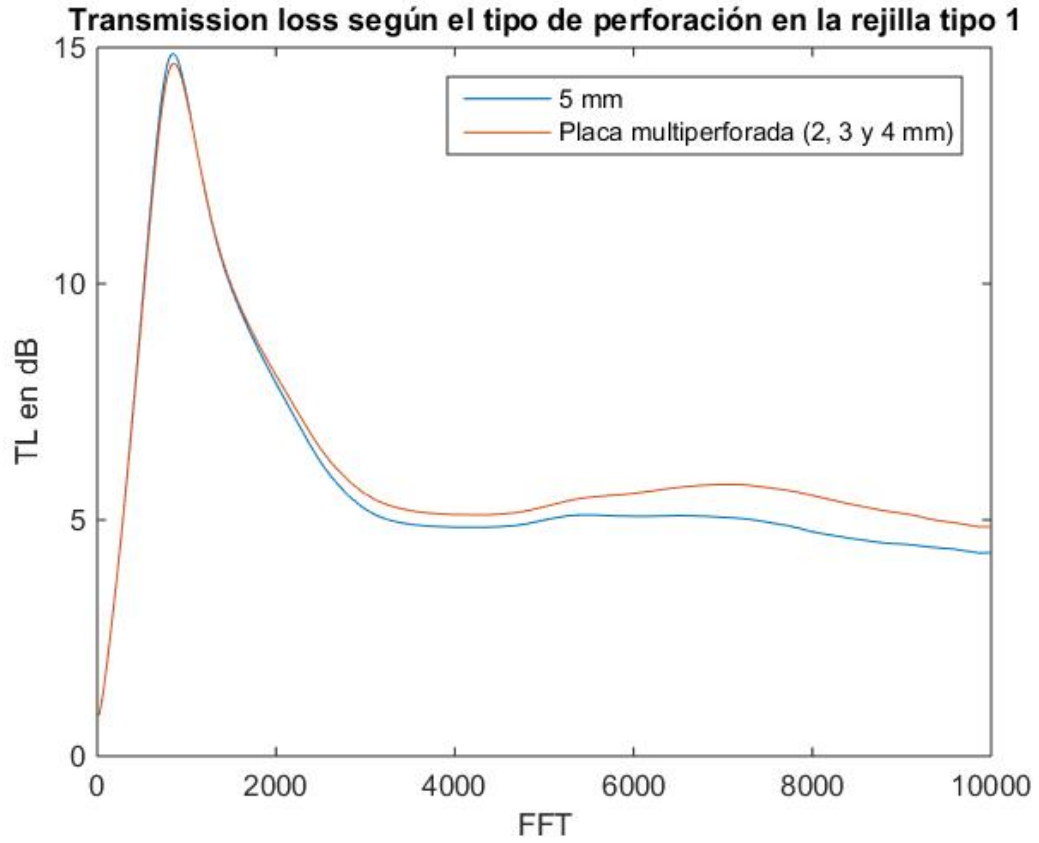
4.4. VARIACIÓN DEL DIÁMETRO DE LAS PERFORACIONES

En este cuarto apartado se evaluará la influencia del diámetro de las perforaciones de la placa de acero, manteniendo constante la superficie de paso de aire en la placa. La superficie de paso elegida será del 25%, y los diámetros que se considerarán serán de 2, 5 y 10 mm. Además se comparará con el caso en el que no hay placa perforada, aunque en este caso no se mantiene la superficie de paso del 25% (sería 100% de superficie de paso), y con una placa perforada con distintos diámetros de agujeros (2, 3 y 4 mm). Hay que tener en cuenta que lo ideal será usar distintos tipos de diámetro en las perforaciones, de forma que las frecuencias de resonancia que corresponden a los diferentes diámetros de los orificios son diferentes y la curva de absorción se extenderá más. Todos los resultados han sido obtenidos sin tener en cuenta el caudal de aire.

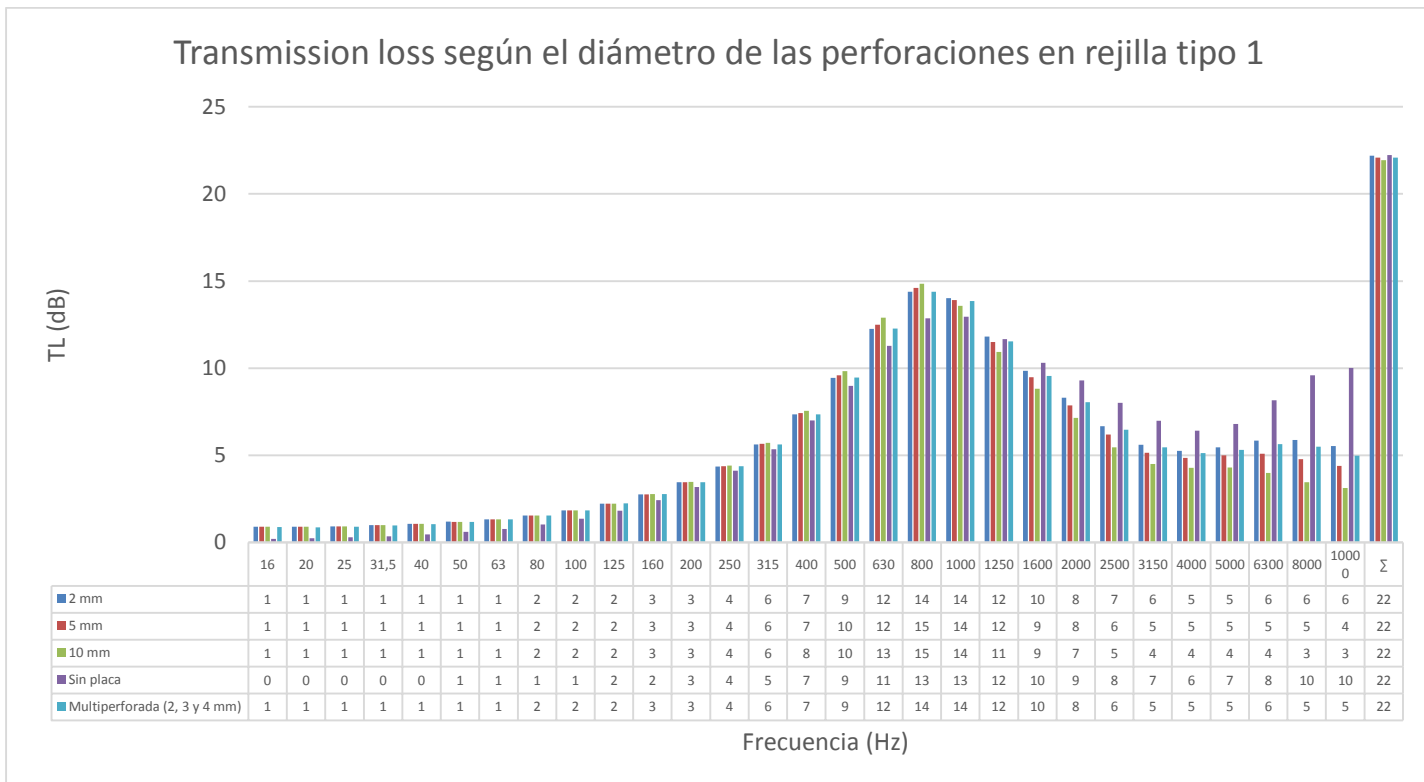
- **Rejilla tipo 1:**



Gráfica 27: TL según diámetro perforaciones rejilla 1



Gráfica 28: TL según tipo perforación rejilla 1



Gráfica 29: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 1

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 2 mm	91	4
Ruido rosa con 5 mm	91	4
Ruido rosa con 10 mm	91	4
Ruido rosa sin placa	91	4
Ruido rosa con 2, 3 y 4 mm	91	4

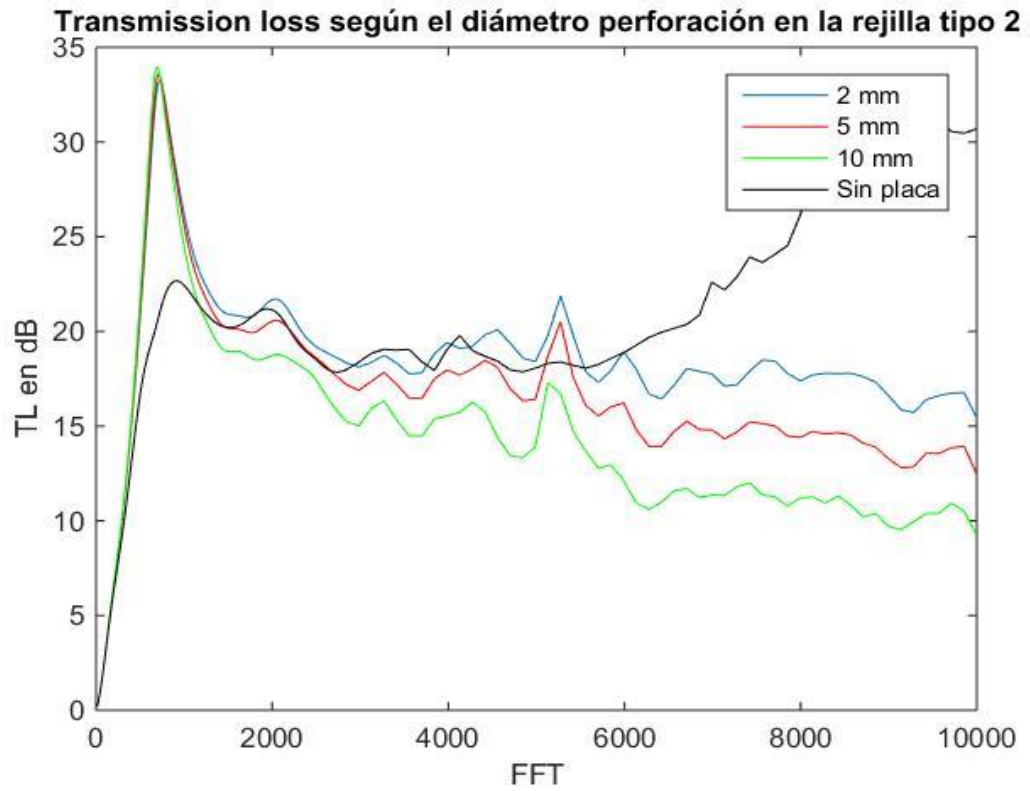
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 2 mm	101	6
Transformador con 5 mm	101	6
Transformador con 10 mm	101	6
Transformador sin placa	102	6
Transformador con 2, 3 y 4 mm	101	6

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 2 mm	87	8
Bomba centrífuga con 5 mm	87	8
Bomba centrífuga con 10 mm	88	8
Bomba centrífuga sin placa	87	8
Bomba centrífuga con 2, 3 y 4 mm	87	8

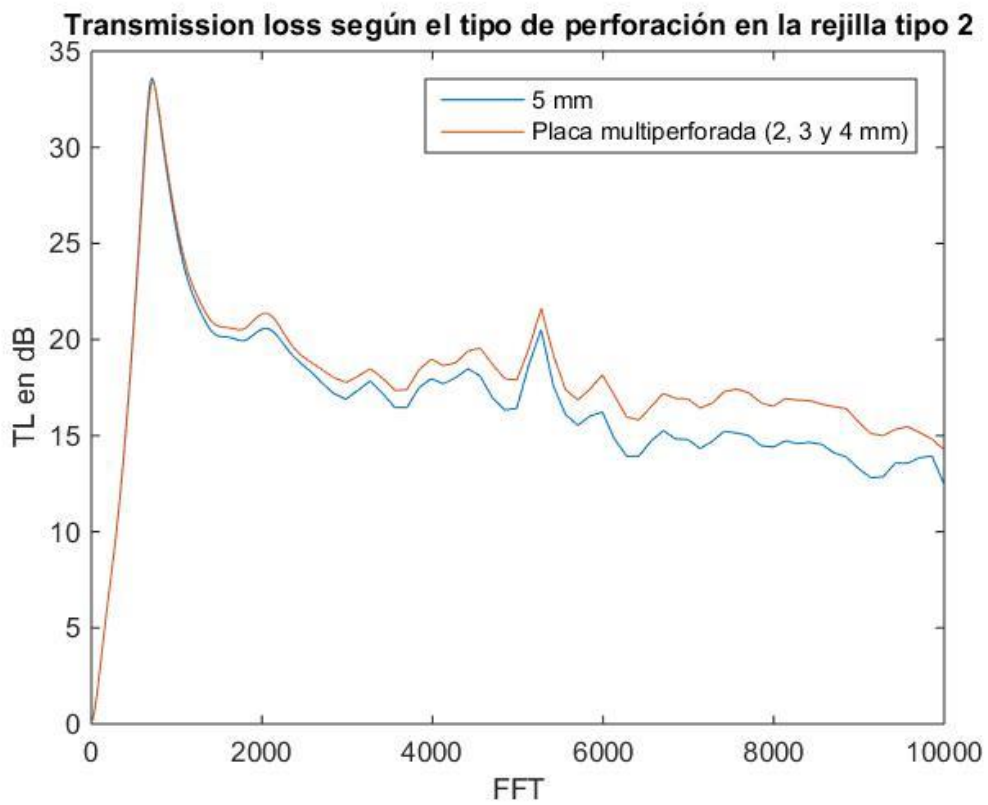
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 2 mm	93	6
Compresor con 5 mm	93	6
Compresor con 10 mm	93	6
Compresor sin placa	93	6
Compresor con 2, 3 y 4 mm	93	6

Tabla 16: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 1

- **Rejilla tipo 2:**

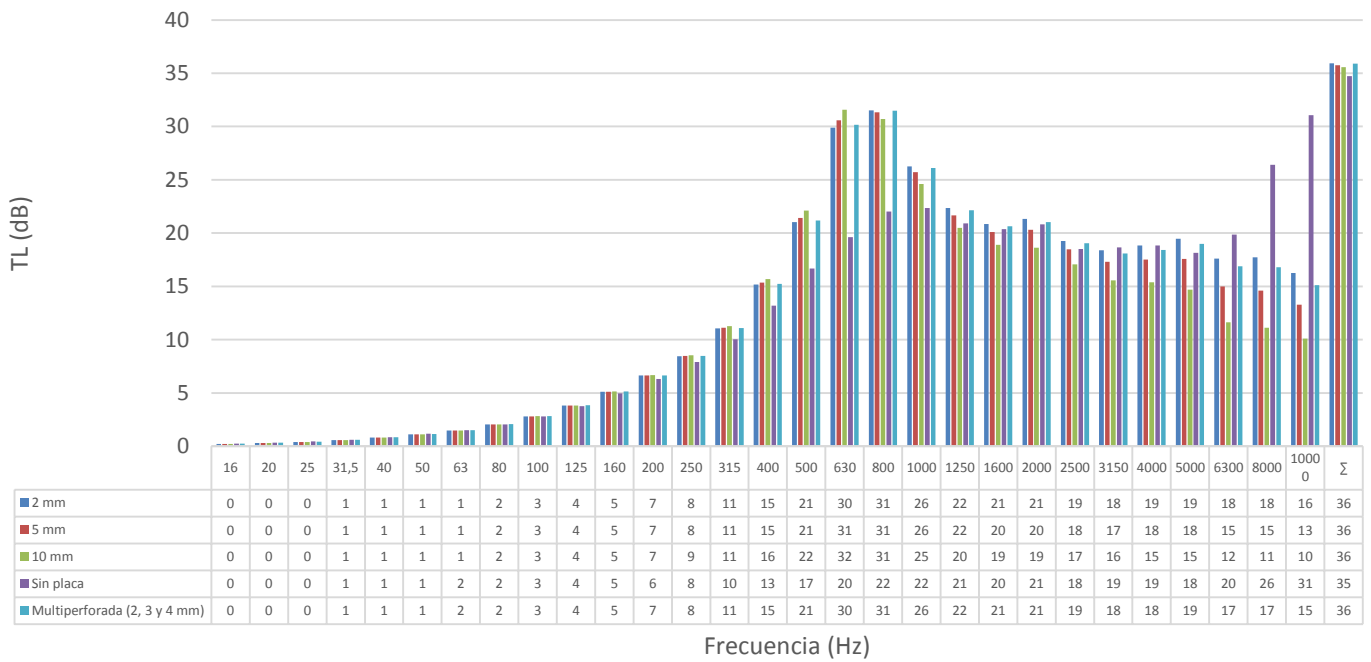


Gráfica 30: TL según diámetro perforaciones rejilla 2



Gráfica 31: TL según tipo perforación rejilla 2

Transmission loss según el diámetro de las perforaciones en rejilla tipo 2



Gráfica 32: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 2

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 2 mm	89	5
Ruido rosa con 5 mm	89	5
Ruido rosa con 10 mm	89	5
Ruido rosa sin placa	89	5
Ruido rosa con 2, 3 y 4 mm	89	5

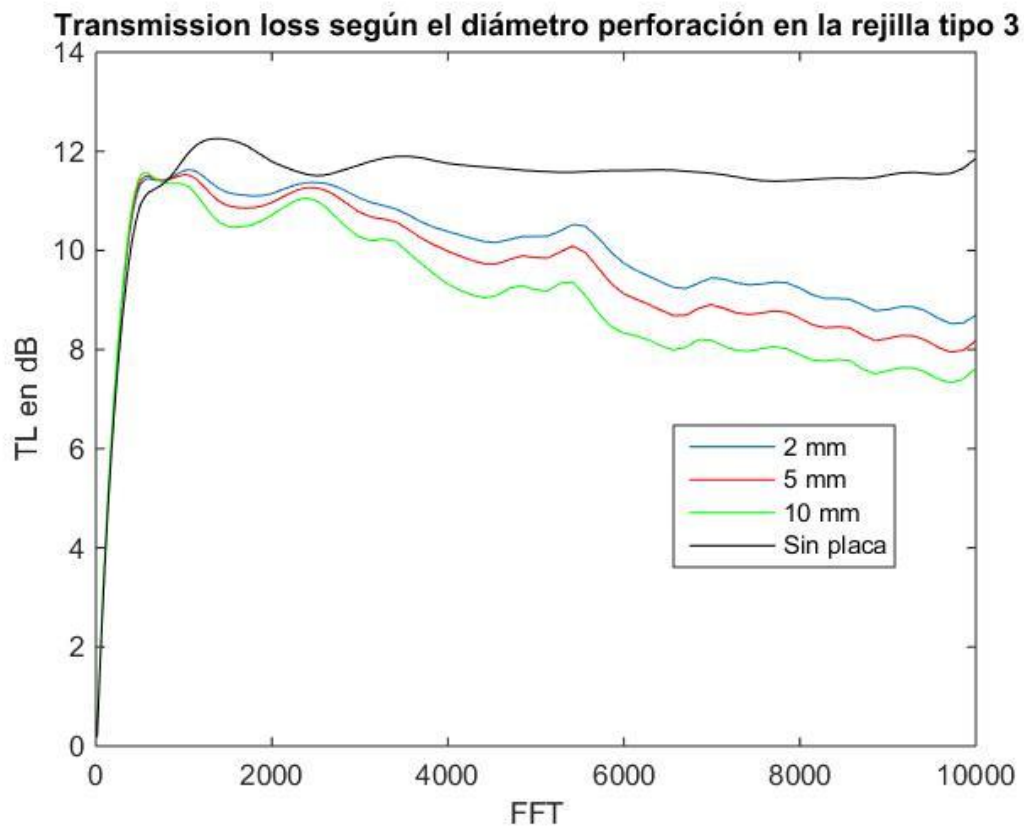
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 2 mm	97	10
Transformador con 5 mm	97	11
Transformador con 10 mm	97	11
Transformador sin placa	98	10
Transformador con 2, 3 y 4 mm	97	11

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 2 mm	80	15
Bomba centrífuga con 5 mm	80	15
Bomba centrífuga con 10 mm	81	15
Bomba centrífuga sin placa	81	14
Bomba centrífuga con 2, 3 y 4 mm	80	15

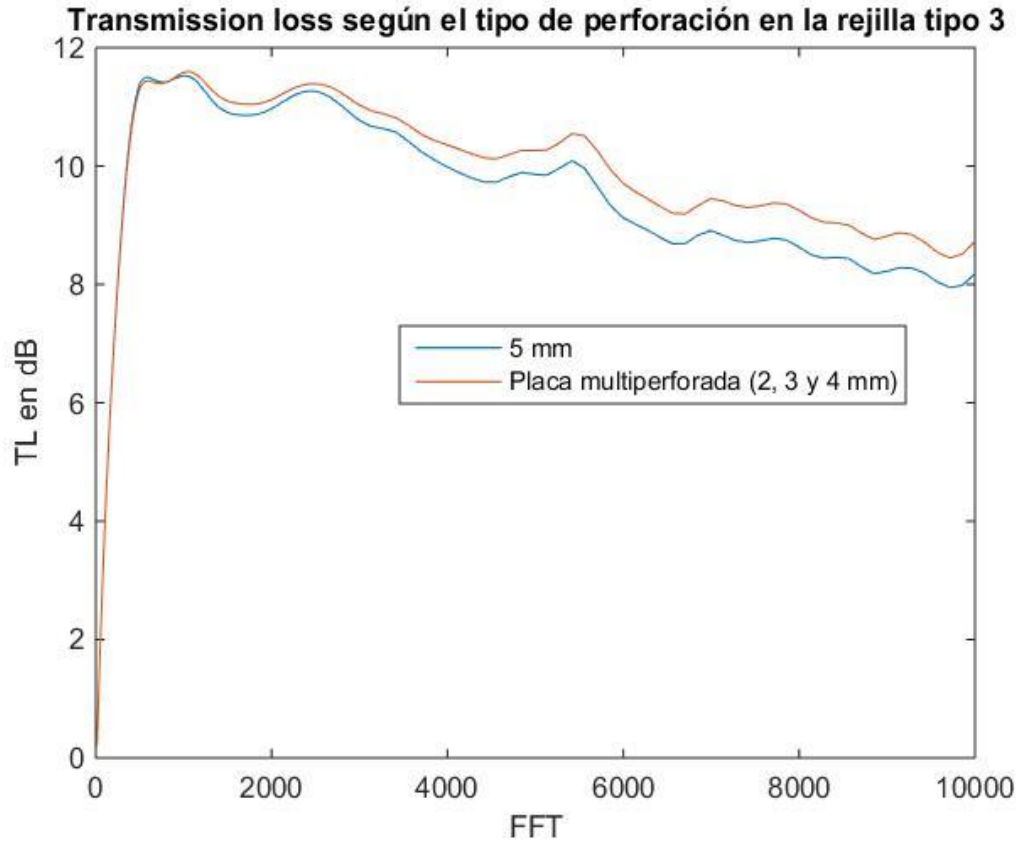
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 2 mm	90	9
Compresor con 5 mm	90	9
Compresor con 10 mm	90	9
Compresor sin placa	90	9
Compresor con 2, 3 y 4 mm	90	9

Tabla 17: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 2

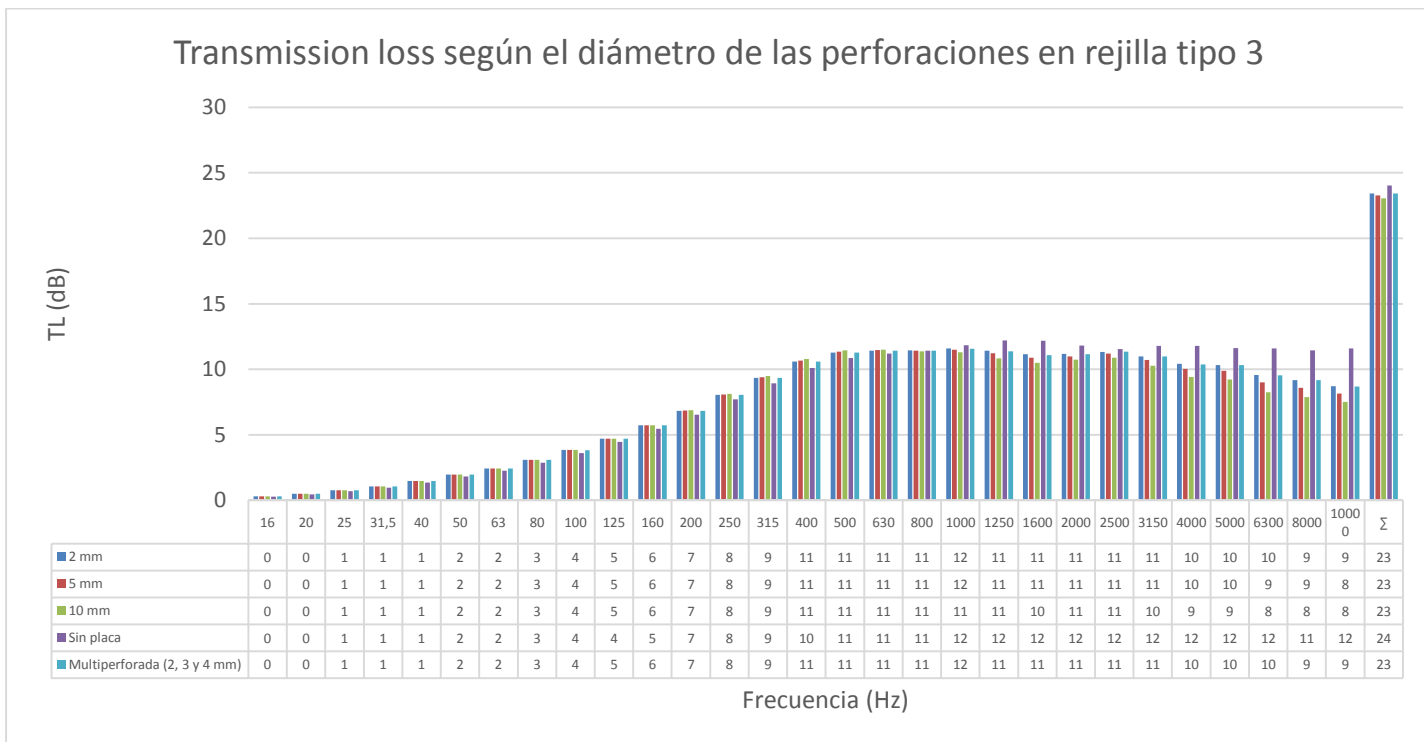
- Rejilla tipo 3:



Gráfica 33: TL según diámetro perforaciones rejilla 3



Gráfica 34: TL según tipo perforación rejilla 3



Gráfica 35: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 3

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 2 mm	89	5
Ruido rosa con 5 mm	89	5
Ruido rosa con 10 mm	89	5
Ruido rosa sin placa	89	5
Ruido rosa con 2, 3 y 4 mm	89	5

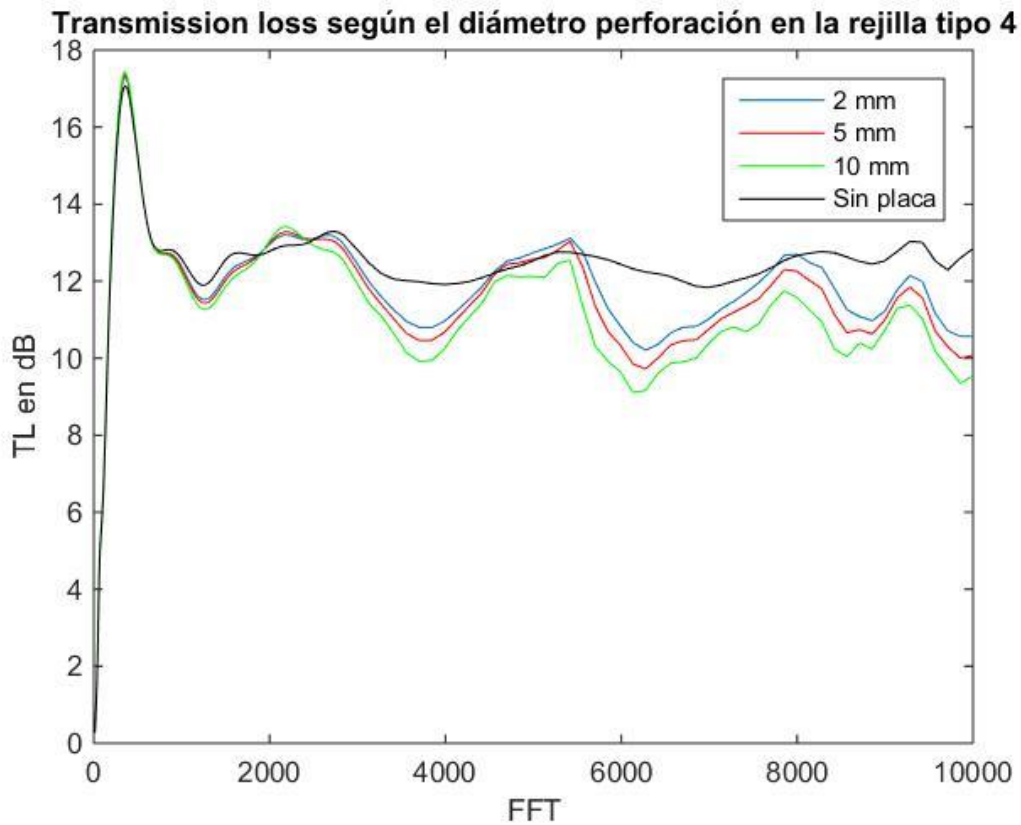
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 2 mm	98	9
Transformador con 5 mm	98	9
Transformador con 10 mm	98	9
Transformador sin placa	99	9
Transformador con 2, 3 y 4 mm	98	9

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 2 mm	85	10
Bomba centrífuga con 5 mm	85	10
Bomba centrífuga con 10 mm	85	10
Bomba centrífuga sin placa	85	11
Bomba centrífuga con 2, 3 y 4 mm	85	10

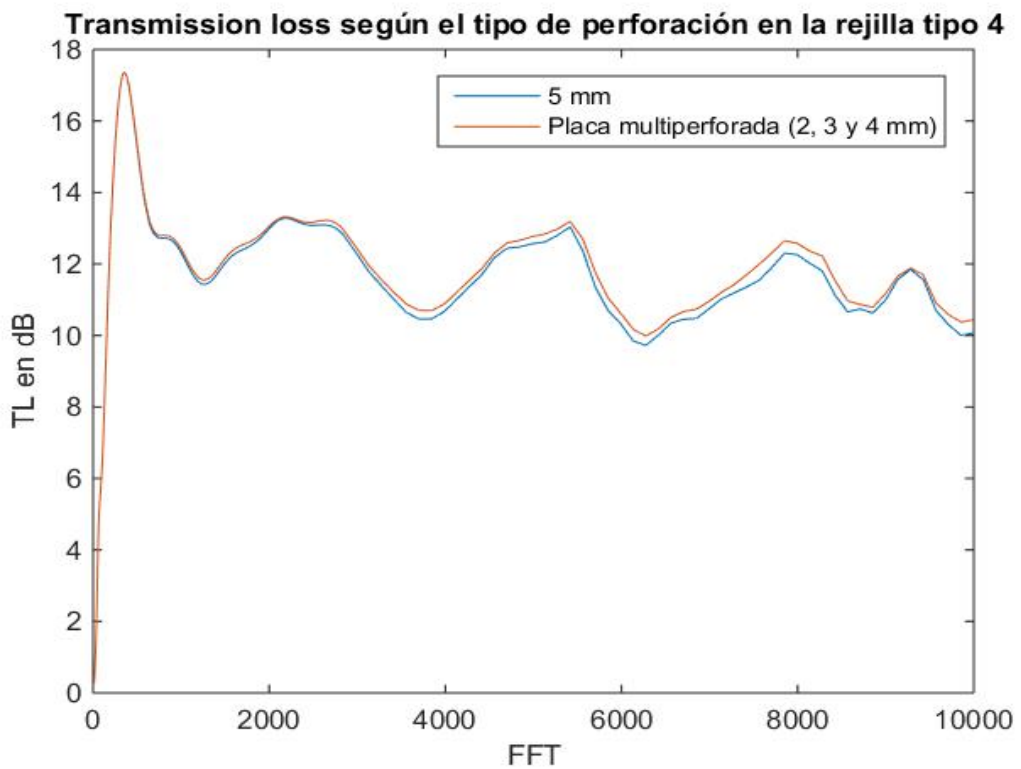
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 2 mm	91	8
Compresor con 5 mm	91	8
Compresor con 10 mm	91	8
Compresor sin placa	91	8
Compresor con 2, 3 y 4 mm	91	8

Tabla 18: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 3

- **Rejilla tipo 4:**

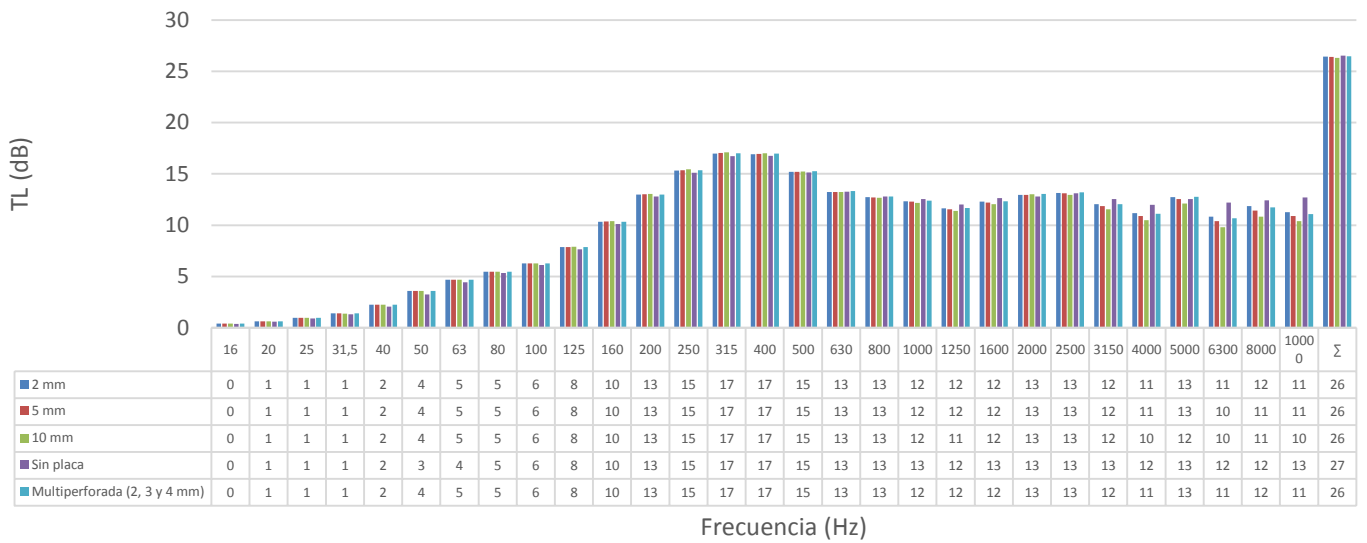


Gráfica 36: TL según diámetro perforaciones rejilla 4



Gráfica 37: TL según tipo perforación rejilla 4

Transmission loss según el diámetro de las perforaciones en rejilla tipo 4



Gráfica 38: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 4

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 2 mm	88	7
Ruido rosa con 5 mm	88	7
Ruido rosa con 10 mm	88	6
Ruido rosa sin placa	88	7
Ruido rosa con 2, 3 y 4 mm	88	7

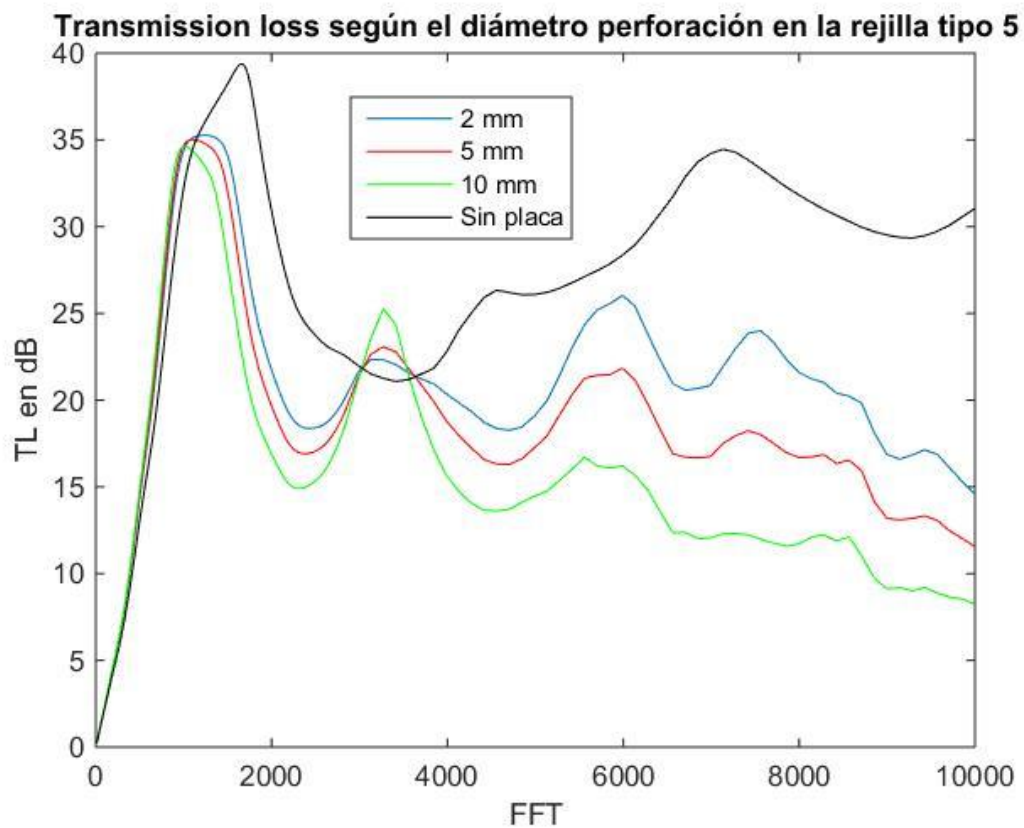
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 2 mm	94	13
Transformador con 5 mm	94	13
Transformador con 10 mm	94	13
Transformador sin placa	94	13
Transformador con 2, 3 y 4 mm	94	13

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 2 mm	82	13
Bomba centrífuga con 5 mm	82	13
Bomba centrífuga con 10 mm	83	13
Bomba centrífuga sin placa	82	13
Bomba centrífuga con 2, 3 y 4 mm	82	13

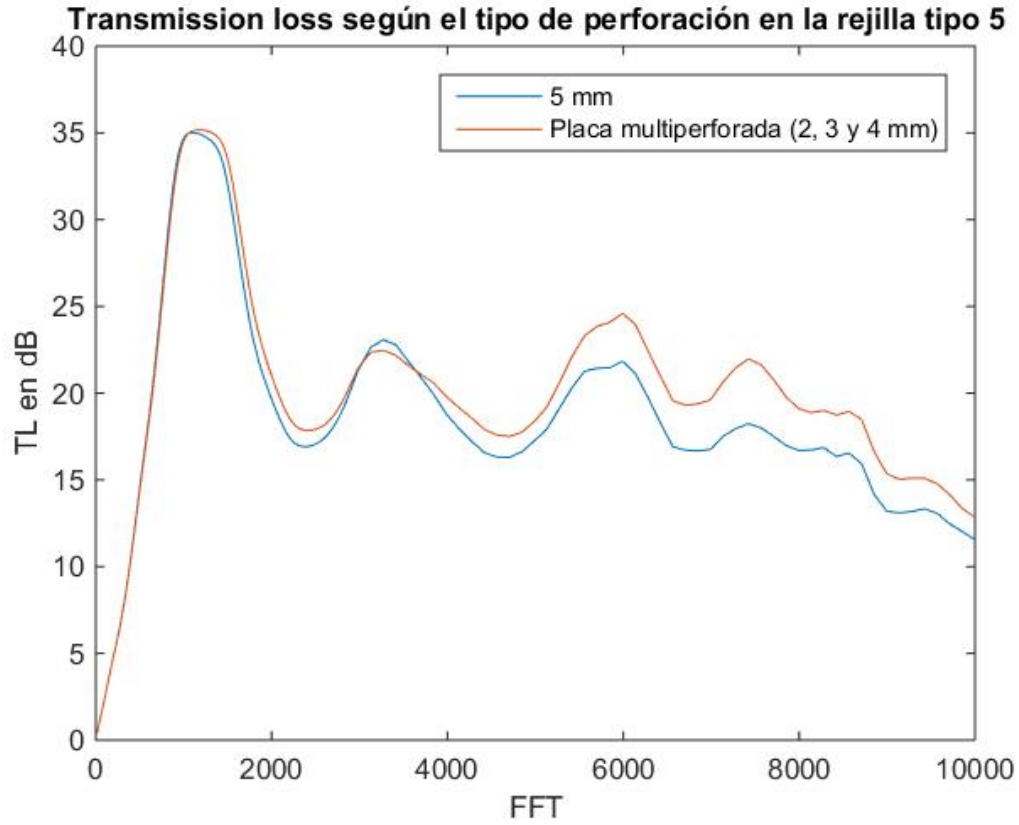
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 2 mm	89	10
Compresor con 5 mm	89	10
Compresor con 10 mm	89	10
Compresor sin placa	89	10
Compresor con 2, 3 y 4 mm	89	10

Tabla 19: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 4

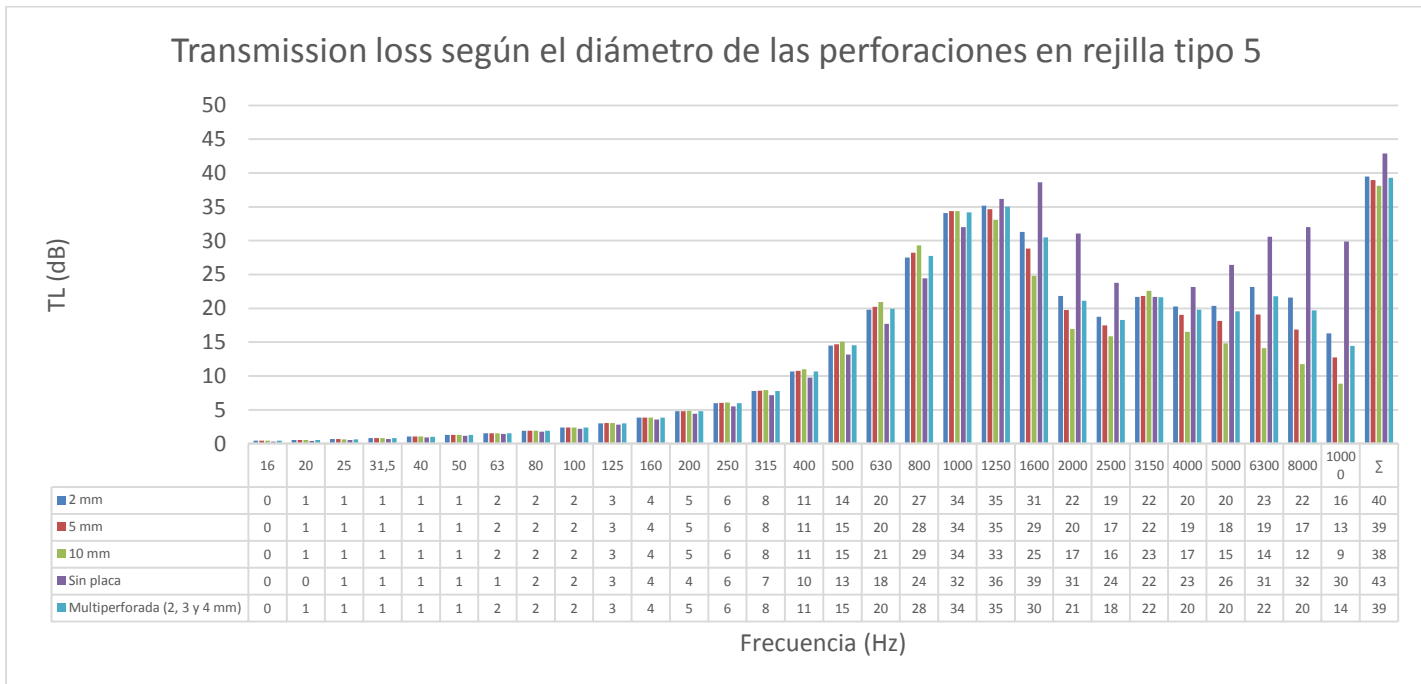
- **Rejilla tipo 5:**



Gráfica 39: TL según diámetro perforaciones rejilla 5



Gráfica 40: TL según tipo perforación rejilla 5



Gráfica 41: TL en tercios de octava según diámetro perforaciones rejilla 5

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 2 mm	89	5
Ruido rosa con 5 mm	89	5
Ruido rosa con 10 mm	90	5
Ruido rosa sin placa	90	5
Ruido rosa con 2, 3 y 4 mm	89	5

	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 2 mm	99	8
Transformador con 5 mm	99	8
Transformador con 10 mm	99	8
Transformador sin placa	100	8
Transformador con 2, 3 y 4 mm	99	8

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 2 mm	82	13
Bomba centrífuga con 5 mm	82	13
Bomba centrífuga con 10 mm	82	13
Bomba centrífuga sin placa	83	13
Bomba centrífuga con 2, 3 y 4 mm	82	13

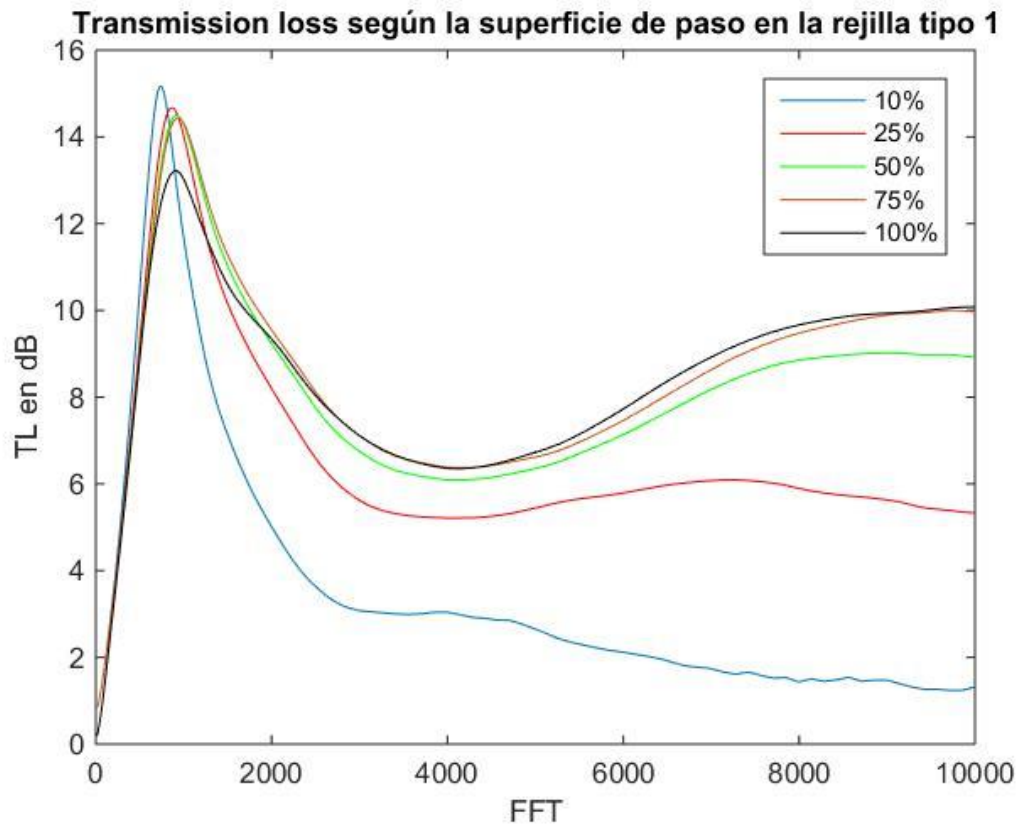
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 2 mm	91	8
Compresor con 5 mm	91	8
Compresor con 10 mm	91	8
Compresor sin placa	91	8
Compresor con 2, 3 y 4 mm	91	8

Tabla 20: Atenuación ruidos según diámetro perforaciones rejilla 5

4.5. VARIACIÓN DE LA SUPERFICIE DE PASO DE LA PLACA

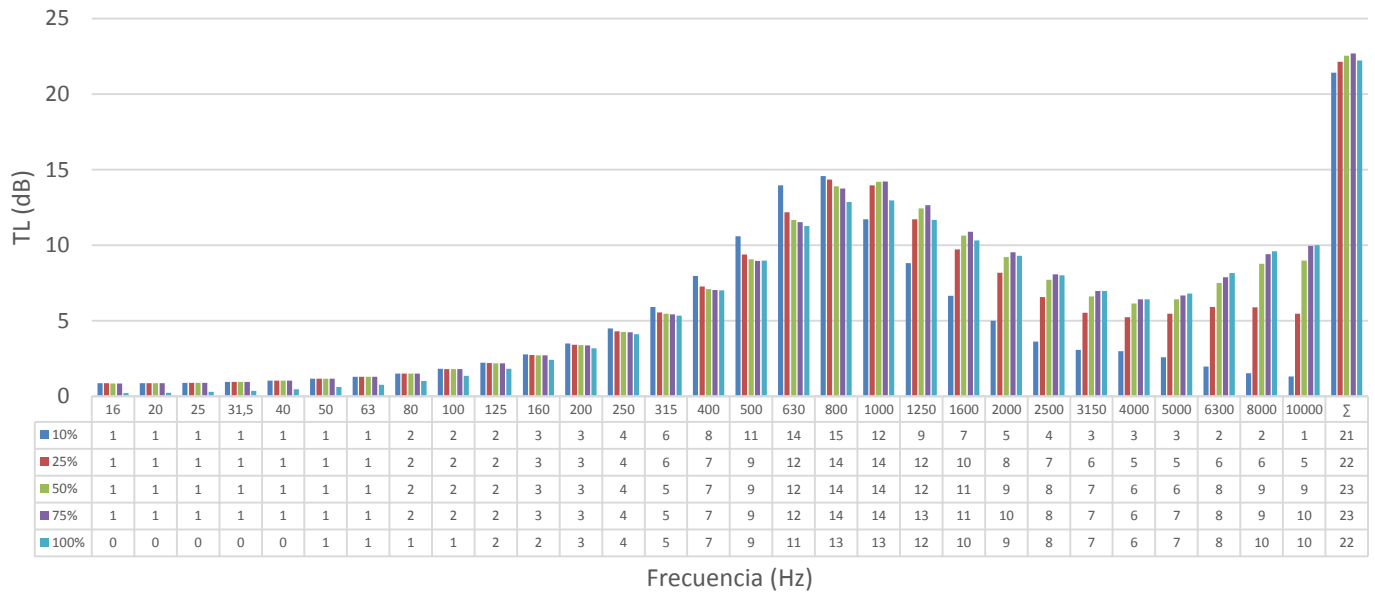
En este apartado se evalúa la influencia de la superficie de paso de la placa perforada. Se mantiene constante el diámetro de perforación (5 mm), variando el período entre agujeros. Los porcentajes elegidos serán de 10%, 25%, 50% y 75%. Además, se comparará con el caso sin placa (100% de superficie de paso). Posteriormente se comprobará la influencia de este parámetro en la atenuación ante distintos ruidos (ruido rosa, ruido de un transformador, ruido de una bomba centrífuga y ruido de un compresor). Todos los resultados han sido obtenidos sin tener en cuenta el caudal de aire.

- Rejilla tipo 1:



Gráfica 42: TL según superficie de paso de la placa rejilla 1

Transmission loss según la superficie de paso de la placa de acero en la rejilla tipo 1



Gráfica 43: Tl en tercios de octava según superficie de paso de la placa rejilla 1

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 10%	92	3
Ruido rosa con 25%	91	4
Ruido rosa con 50%	90	4
Ruido rosa con 75%	90	4
Ruido rosa con 100%	91	4

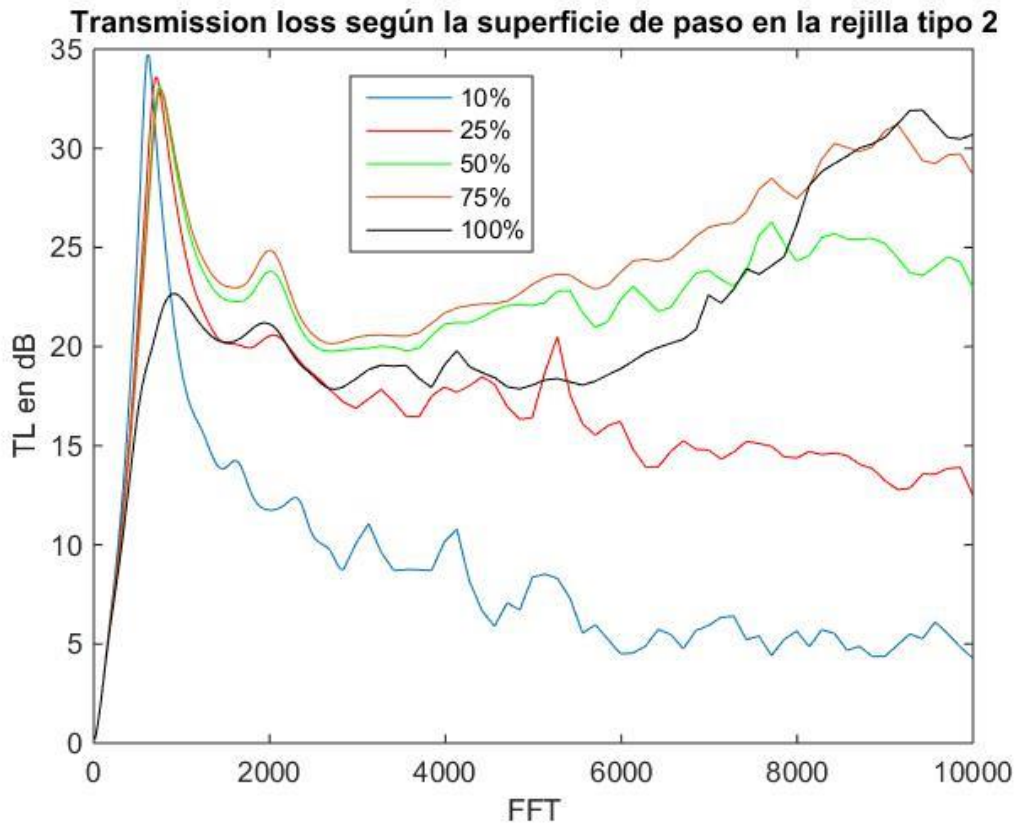
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 10%	101	7
Transformador con 25%	101	6
Transformador con 50%	101	6
Transformador con 75%	101	6
Transformador con 100%	102	6

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 10%	88	7
Bomba centrífuga con 25%	87	8
Bomba centrífuga con 50%	87	8
Bomba centrífuga con 75%	87	9
Bomba centrífuga con 100%	87	8

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 10%	94	5
Compresor con 25%	93	6
Compresor con 50%	93	6
Compresor con 75%	93	6
Compresor con 100%	93	6

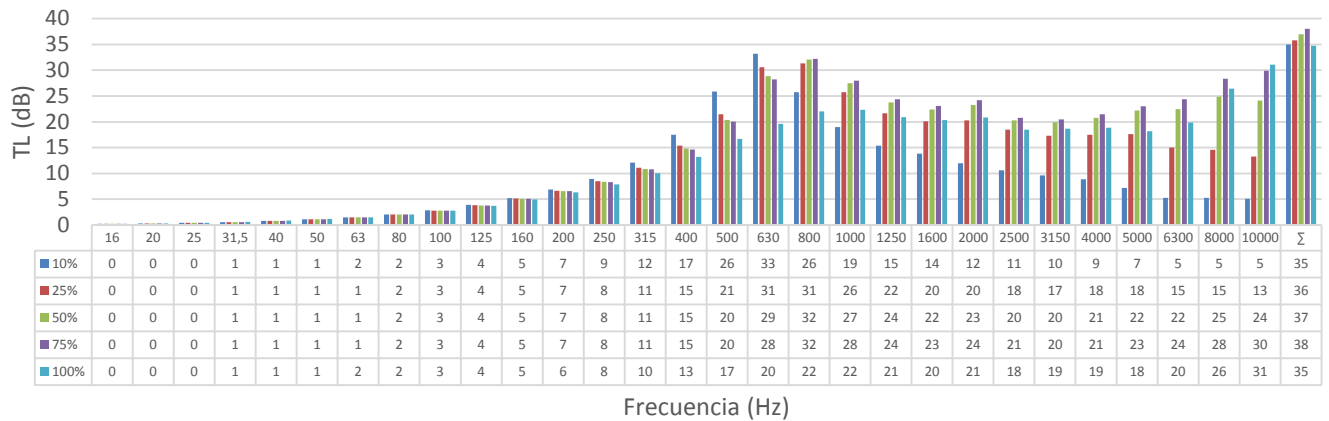
Tabla 21: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 1

- **Rejilla tipo 2:**



Gráfica 44: TL según superficie de paso de la placa rejilla 2

Transmission loss según la superficie de paso de la placa de acero en la rejilla tipo 2



Gráfica 45: TL en tercios de octava según superficie de paso de la placa rejilla 2

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 10%	90	5
Ruido rosa con 25%	89	5
Ruido rosa con 50%	89	5
Ruido rosa con 75%	89	5
Ruido rosa con 100%	89	5

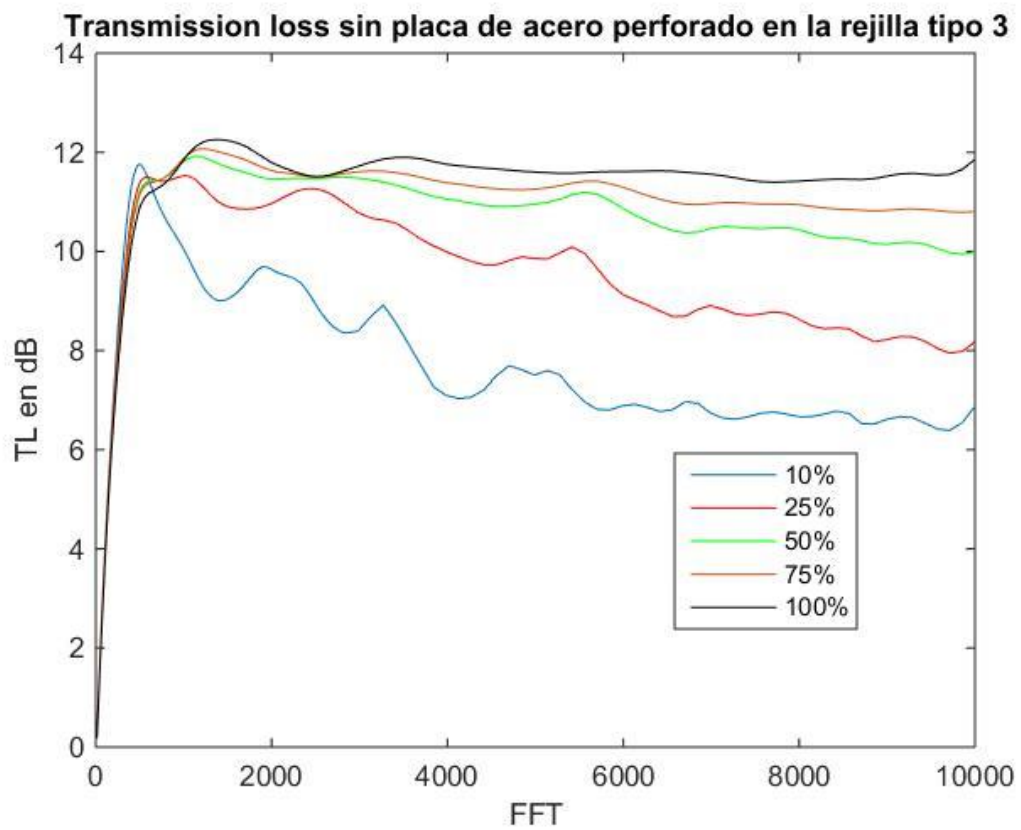
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 10%	96	11
Transformador con 25%	97	11
Transformador con 50%	97	10
Transformador con 75%	97	10
Transformador con 100%	98	10

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 10%	83	13
Bomba centrífuga con 25%	80	15
Bomba centrífuga con 50%	80	15
Bomba centrífuga con 75%	80	15
Bomba centrífuga con 100%	81	14

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 10%	91	8
Compresor con 25%	90	9
Compresor con 50%	90	9
Compresor con 75%	90	9
Compresor con 100%	90	9

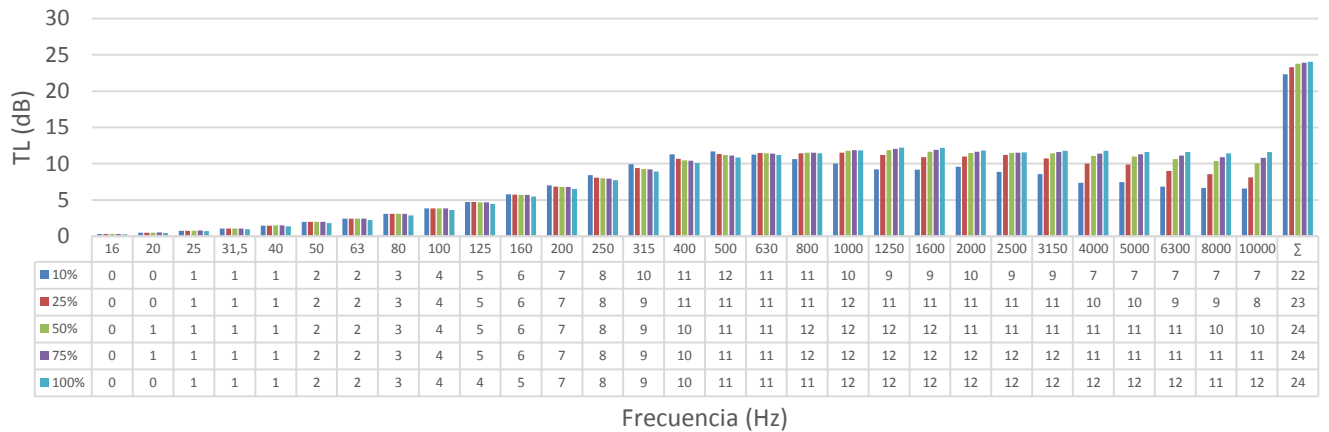
Tabla 22: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 2

- **Rejilla tipo 3:**



Gráfica 46: TL según superficie de paso de la placa rejilla 3

Transmission loss según la superficie de paso de la placa de acero en la rejilla tipo 3



Gráfica 47: TL en tercios de octava según la superficie de paso de la placa rejilla 3

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 10%	90	5
Ruido rosa con 25%	89	5
Ruido rosa con 50%	89	5
Ruido rosa con 75%	89	5
Ruido rosa con 100%	89	5

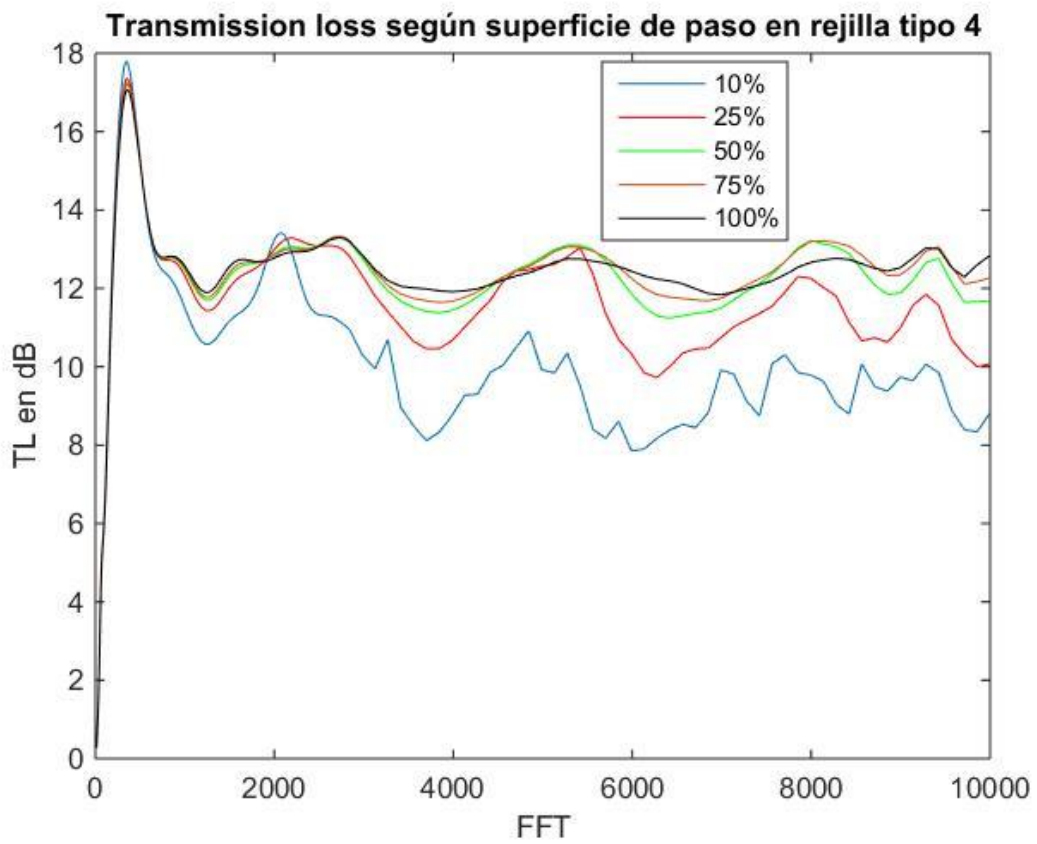
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 10%	98	9
Transformador con 25%	98	9
Transformador con 50%	99	9
Transformador con 75%	99	9
Transformador con 100%	99	9

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 10%	86	9
Bomba centrífuga con 25%	85	10
Bomba centrífuga con 50%	85	11
Bomba centrífuga con 75%	85	11
Bomba centrífuga con 100%	85	11

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 10%	92	8
Compresor con 25%	91	8
Compresor con 50%	91	8
Compresor con 75%	91	8
Compresor con 100%	91	8

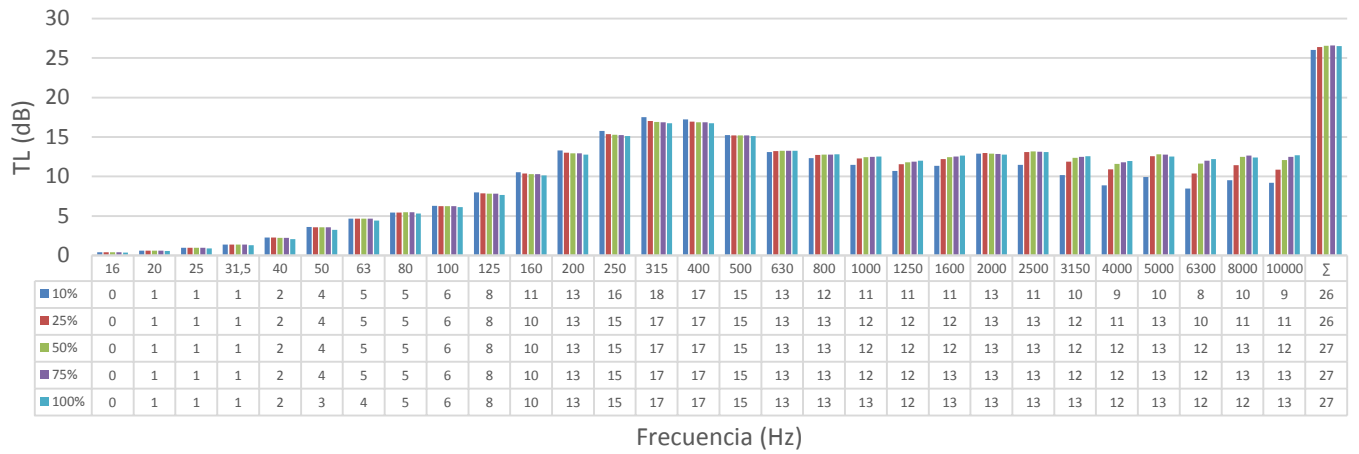
Tabla 23: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 3

- **Rejilla tipo 4:**



Gráfica 48: TL según superficie de paso de la placa rejilla 4

Transmission loss según la superficie de paso de la placa de acero en la rejilla tipo 4



Gráfica 49: TL en tercios de octava según la superficie de paso de la placa rejilla 4

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 10%	88	6
Ruido rosa con 25%	88	7
Ruido rosa con 50%	88	7
Ruido rosa con 75%	88	7
Ruido rosa con 100%	88	7

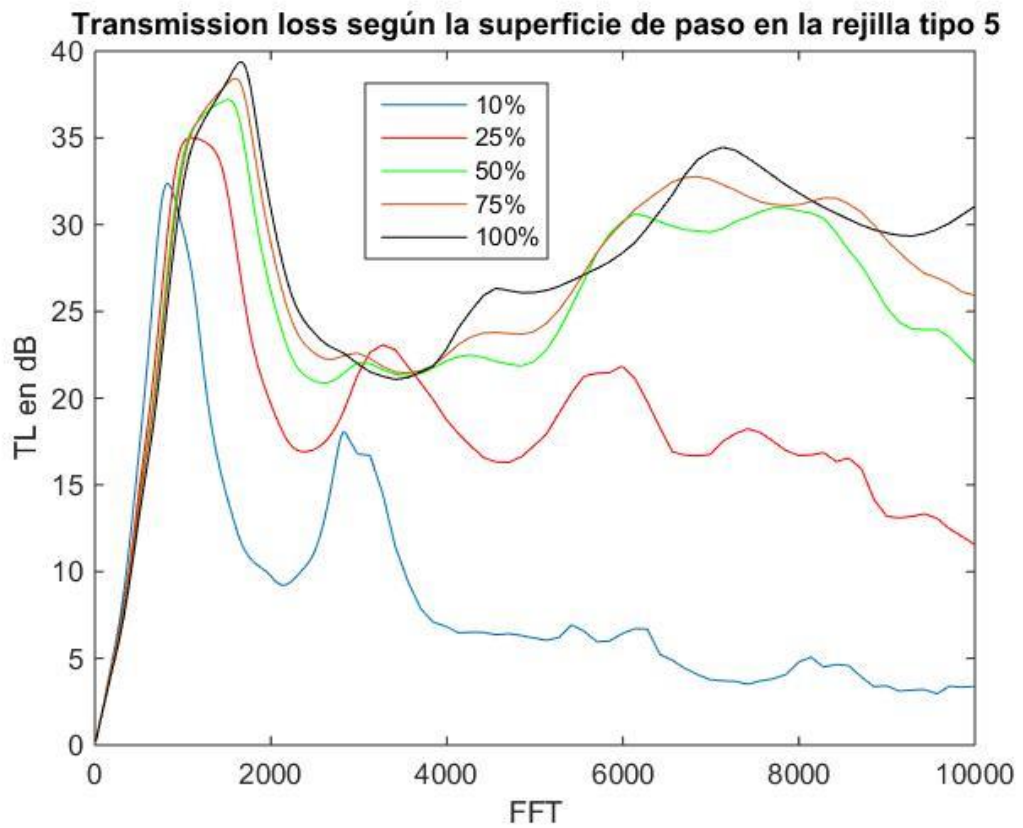
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 10%	94	13
Transformador con 25%	94	13
Transformador con 50%	94	13
Transformador con 75%	94	13
Transformador con 100%	94	13

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 10%	83	12
Bomba centrífuga con 25%	82	13
Bomba centrífuga con 50%	82	13
Bomba centrífuga con 75%	82	13
Bomba centrífuga con 100%	82	13

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 10%	89	10
Compresor con 25%	89	10
Compresor con 50%	89	10
Compresor con 75%	89	10
Compresor con 100%	89	10

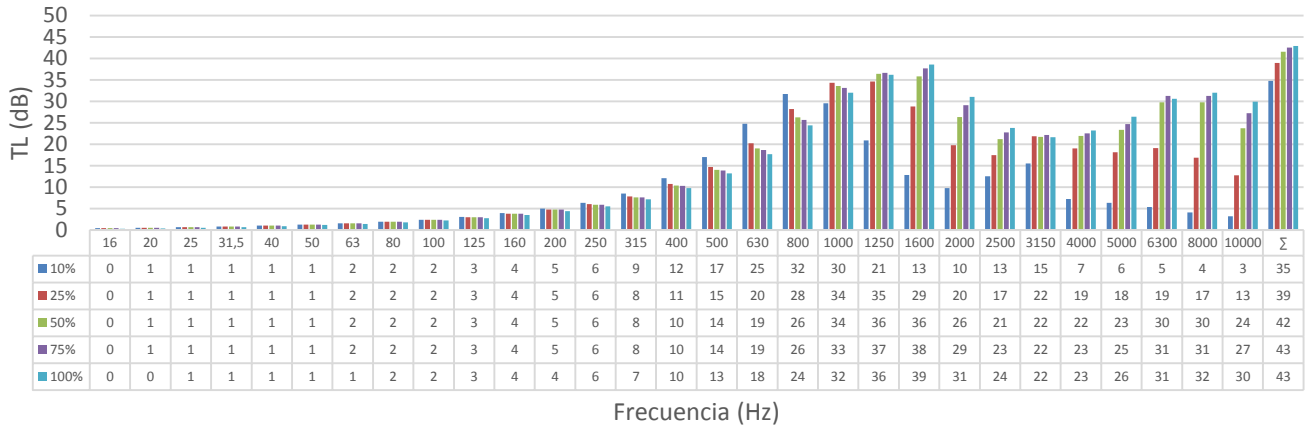
Tabla 24: Atenuación ruidos según la superficie de paso de la placa rejilla 4

- **Rejilla tipo 5:**



Gráfica 50: TL según superficie de paso de la placa rejilla 5

Transmission loss según la superficie de paso de la placa de acero en la rejilla tipo 5



Gráfica 51: TL en tercios de octava según superficie de paso de la placa rejilla 5

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 10%	90	4
Ruido rosa con 25%	89	5
Ruido rosa con 50%	89	5
Ruido rosa con 75%	89	5
Ruido rosa con 100%	90	5

	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 10%	99	9
Transformador con 25%	99	8
Transformador con 50%	99	8
Transformador con 75%	99	8
Transformador con 100%	100	8

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 10%	84	11
Bomba centrífuga con 25%	82	13
Bomba centrífuga con 50%	82	13
Bomba centrífuga con 75%	82	13
Bomba centrífuga con 100%	83	13

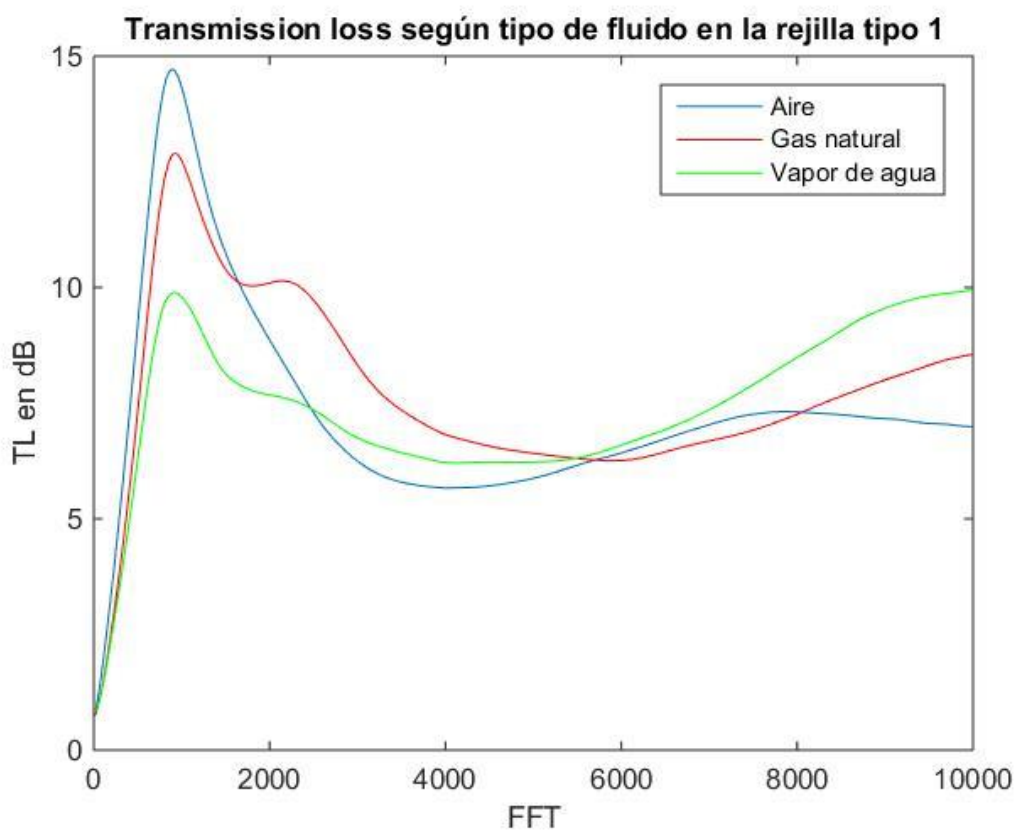
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 10%	91	8
Compresor con 25%	91	8
Compresor con 50%	91	8
Compresor con 75%	91	8
Compresor con 100%	91	8

Tabla 25: Atenuación ruidos según superficie de paso de la placa rejilla 5

4.6. VARIACIÓN DEL FLUIDO QUE PASA POR LA REJILLA

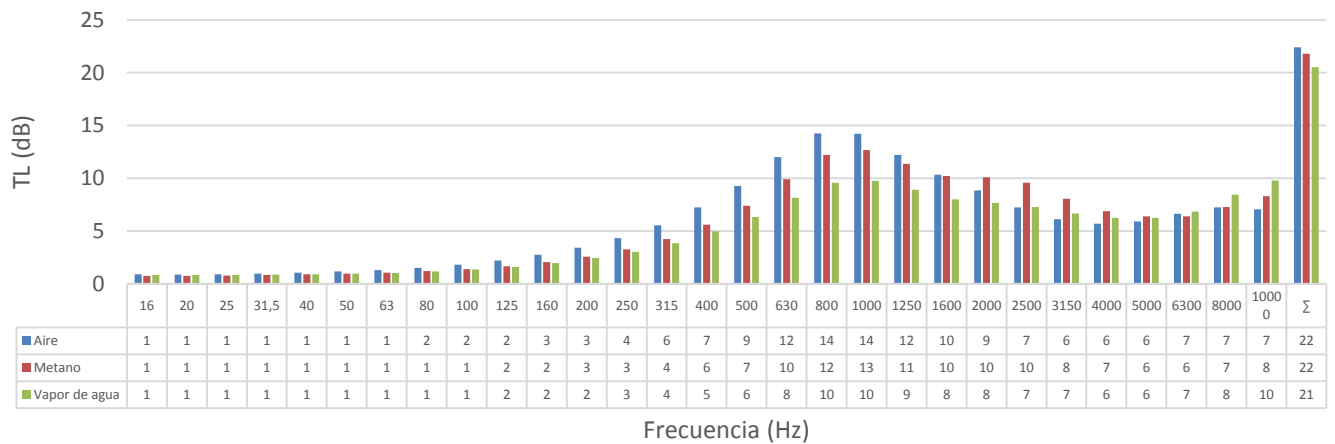
En este apartado se verá la influencia del tipo de fluido que atraviesa la rejilla. Se calculará la atenuación para los casos de aire, gas natural (metano) y vapor de agua. Las propiedades de todos ellos (velocidad del sonido, viscosidad dinámica y densidad) se han medido a 25° y 1 atm. Posteriormente se comprobará la influencia del tipo de fluido en la atenuación de la rejilla ante distintos focos de ruido (ruido rosa, transformador, bomba centrífuga y compresor). Todos los resultados han sido obtenidos sin tener en cuenta el caudal de aire.

- Rejilla tipo 1:



Gráfica 52: TL según tipo de fluido rejilla 1

Transmission loss según el tipo de fluido en la rejilla tipo 1



Gráfica 53: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 1

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con aire	91	4
Ruido rosa con metano	91	4
Ruido rosa con vapor de agua	91	4

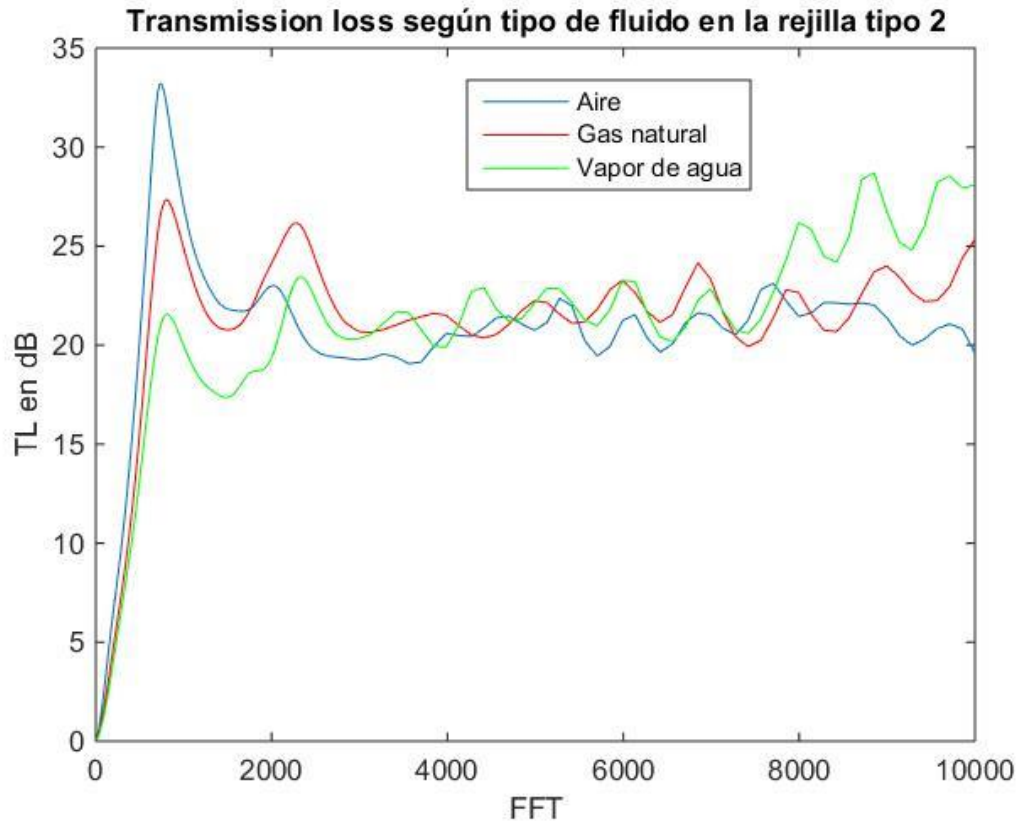
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con aire	101	6
Transformador con metano	102	5
Transformador con vapor de agua	103	4

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con aire	87	8
Bomba centrífuga con metano	88	8
Bomba centrífuga con vapor de agua	89	7

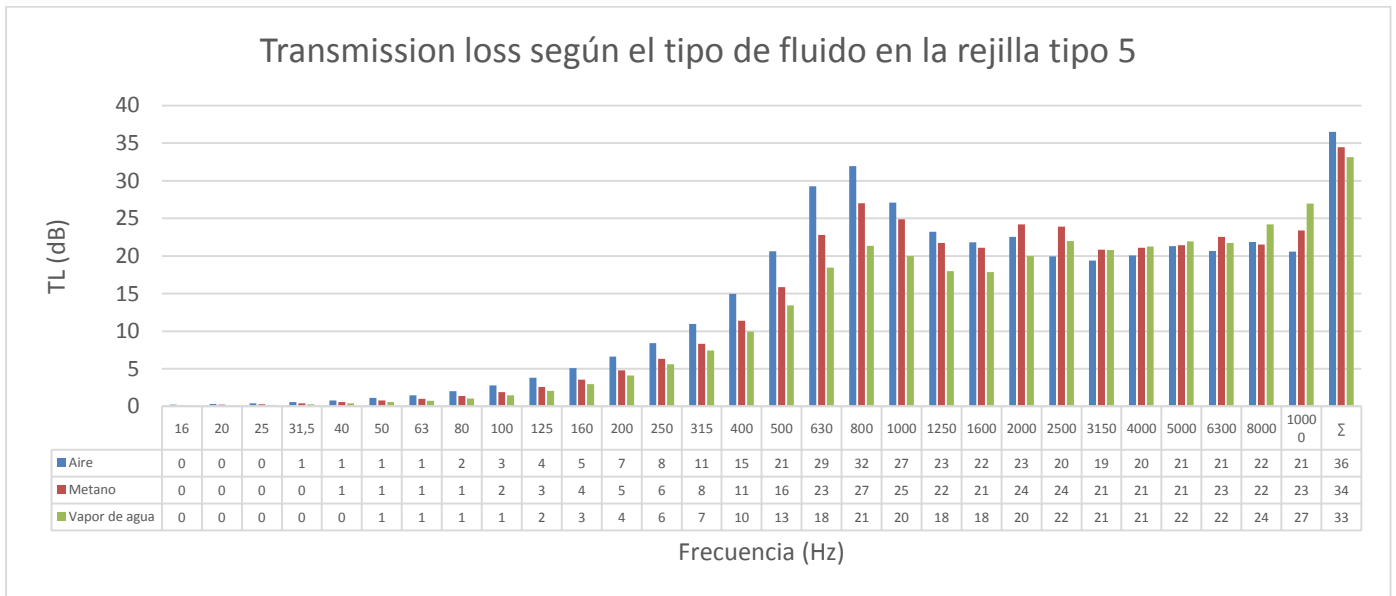
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con aire	93	6
Compresor con metano	94	6
Compresor con vapor de agua	94	5

Tabla 26: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 1

- **Rejilla tipo 2:**



Gráfica 54: TL según tipo de fluido rejilla 2



Gráfica 55: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 2

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con aire	89	5
Ruido rosa con metano	90	5
Ruido rosa con vapor de agua	90	5

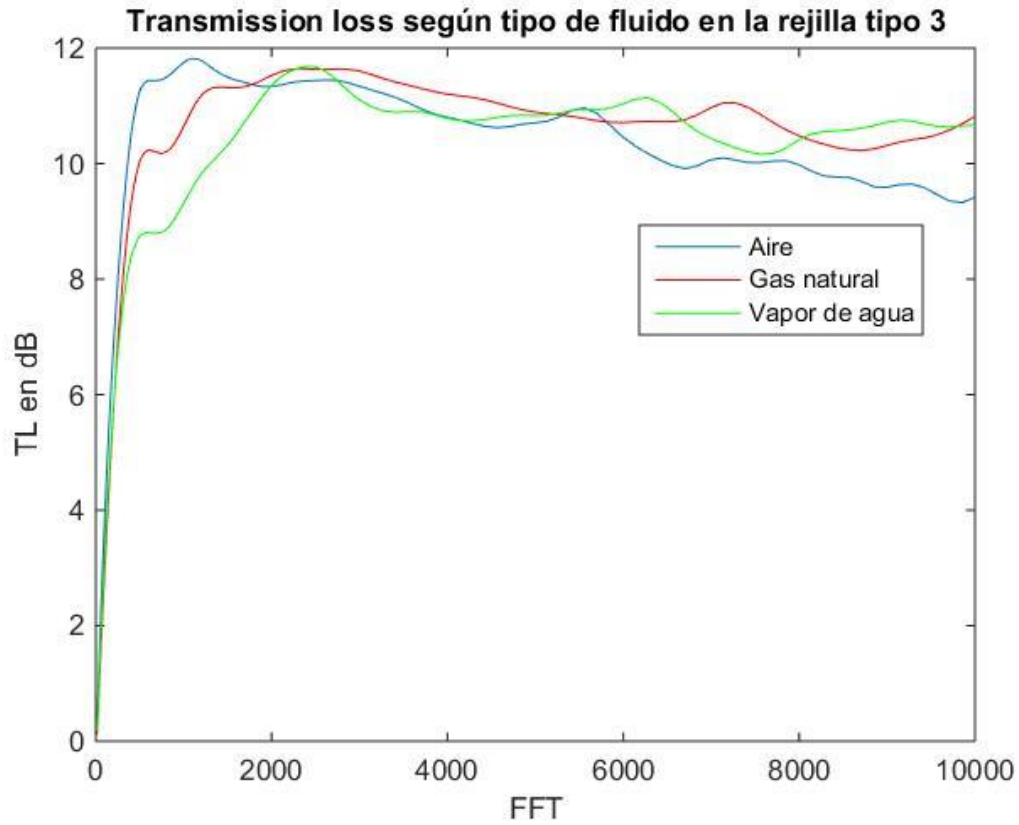
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con aire	97	10
Transformador con metano	99	9
Transformador con vapor de agua	100	8

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con aire	80	15
Bomba centrífuga con metano	82	13
Bomba centrífuga con vapor de agua	83	12

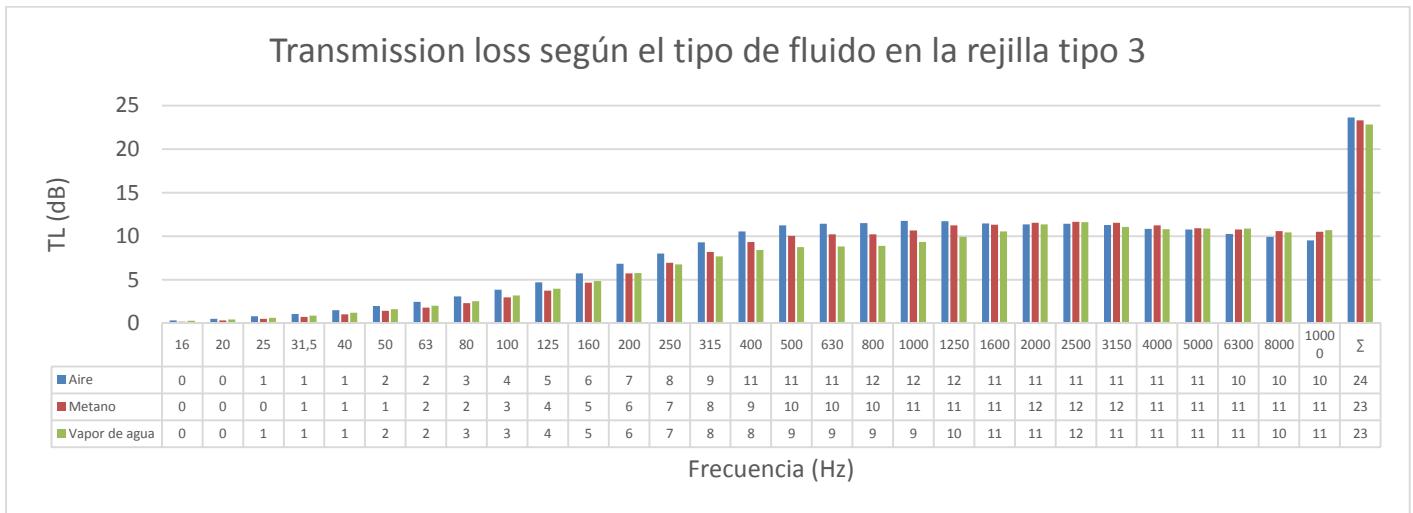
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con aire	90	9
Compresor con metano	91	8
Compresor con vapor de agua	92	7

Tabla 27: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 2

- **Rejilla tipo 3:**



Gráfica 56: TL según tipo de fluido rejilla 3



Gráfica 57: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 3

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con aire	89	5
Ruido rosa con metano	90	5
Ruido rosa con vapor de agua	90	5

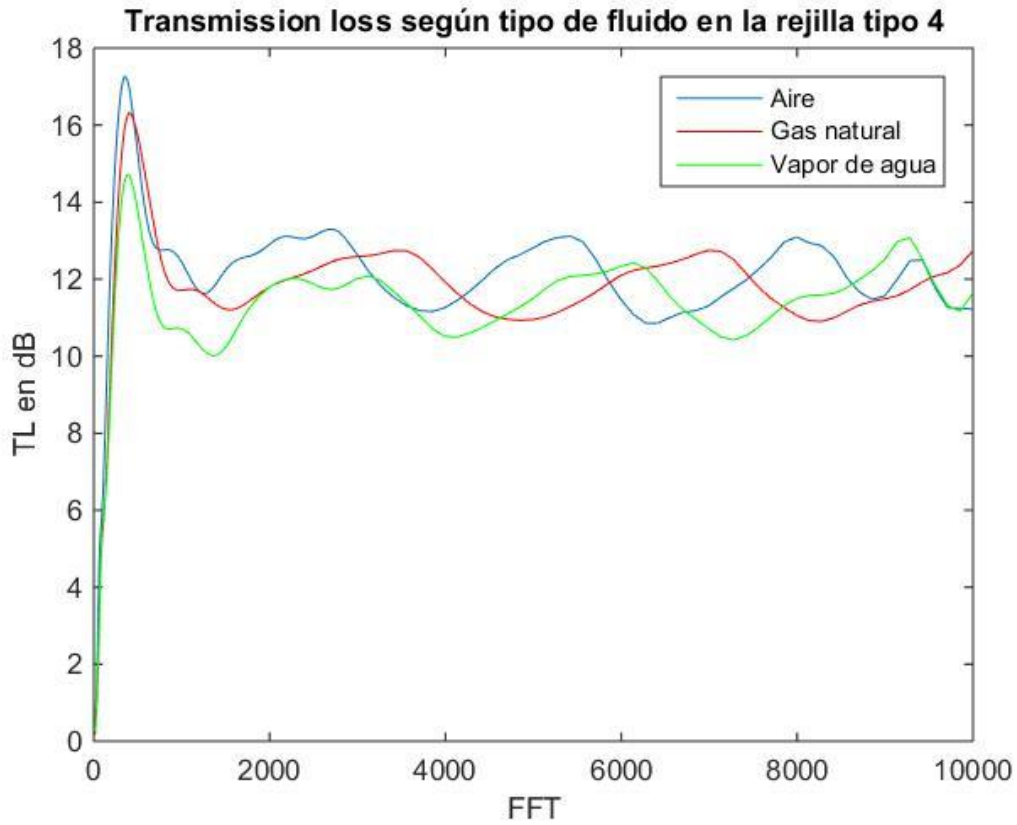
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con aire	99	9
Transformador con metano	100	8
Transformador con vapor de agua	100	7

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con aire	85	11
Bomba centrífuga con metano	86	10
Bomba centrífuga con vapor de agua	86	9

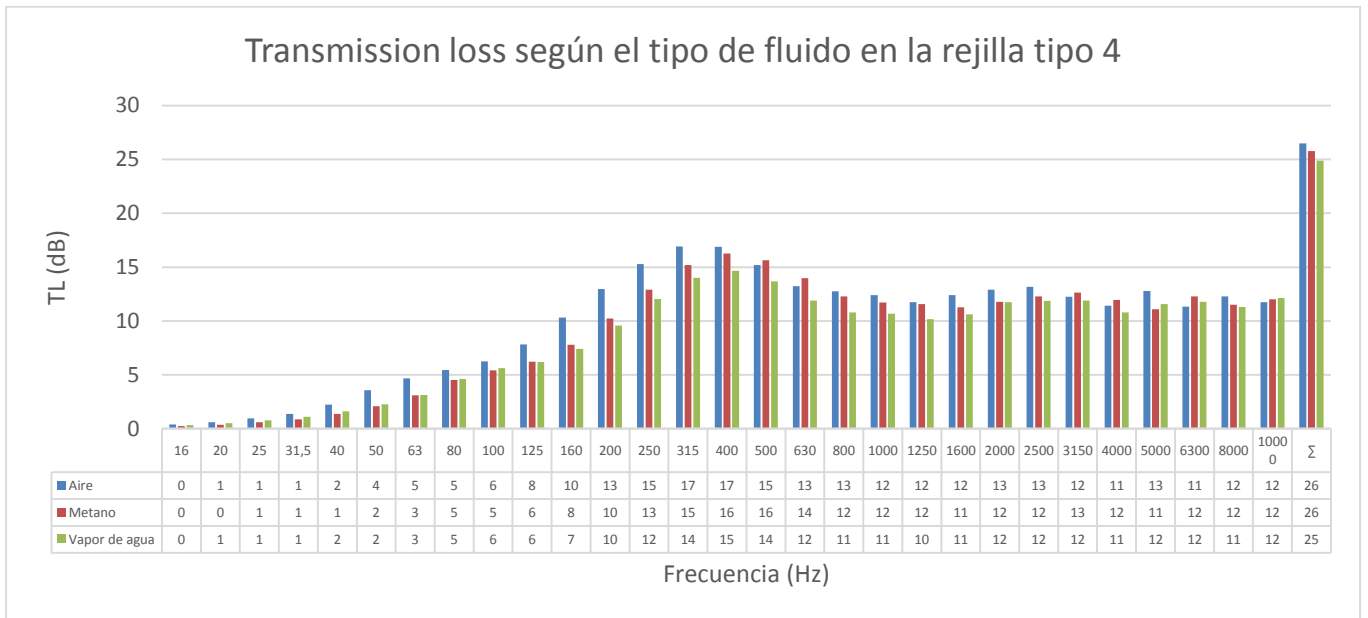
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con aire	91	8
Compresor con metano	92	7
Compresor con vapor de agua	92	7

Tabla 28: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 3

- **Rejilla tipo 4:**



Gráfica 58: TL según tipo de fluido rejilla 4



Gráfica 59: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 4

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con aire	88	7
Ruido rosa con metano	89	6
Ruido rosa con vapor de agua	89	6

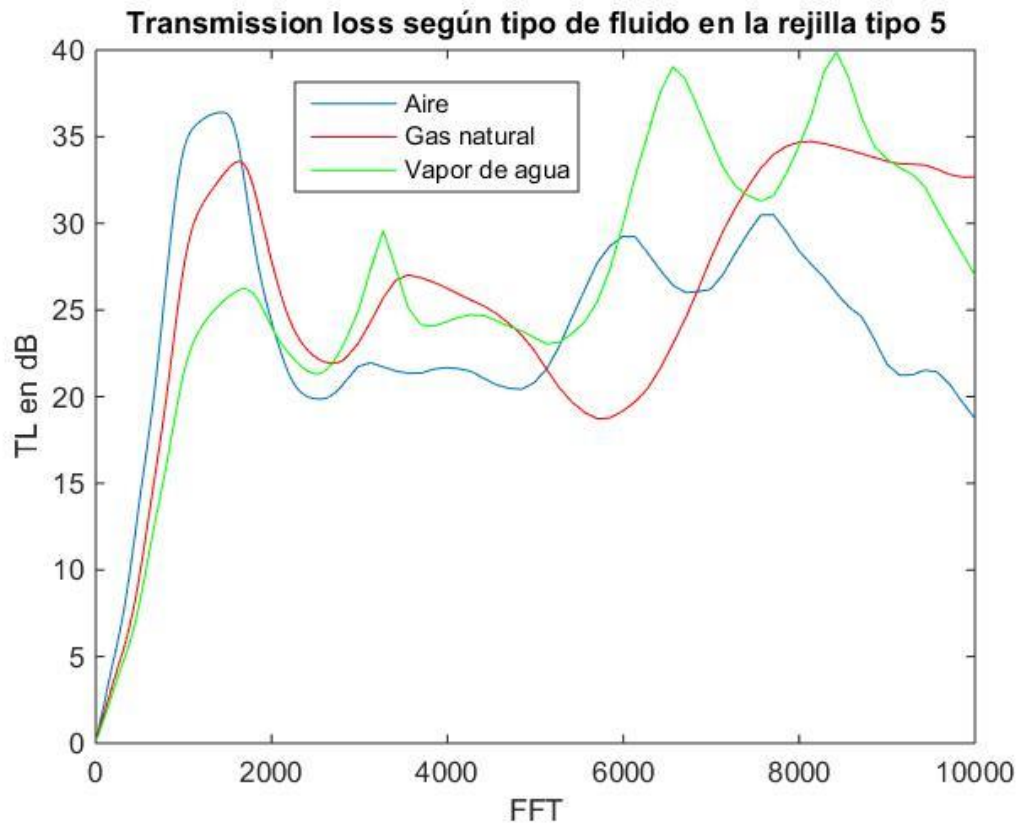
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con aire	94	13
Transformador con metano	95	12
Transformador con vapor de agua	96	12

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con aire	82	13
Bomba centrífuga con metano	83	12
Bomba centrífuga con vapor de agua	84	11

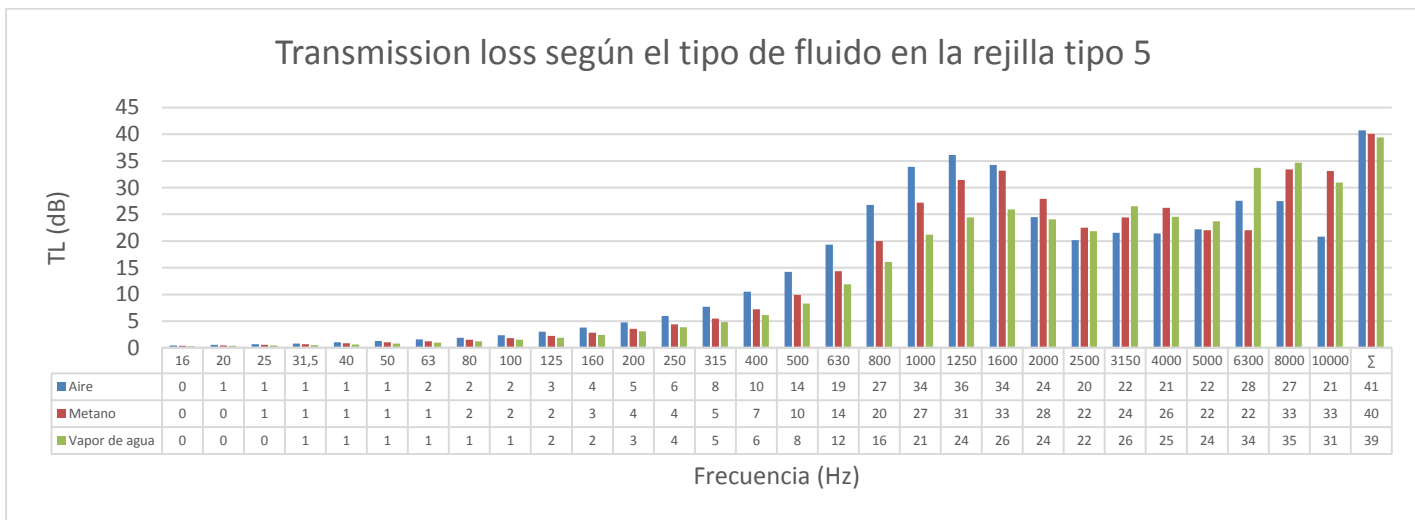
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con aire	89	10
Compresor con metano	90	9
Compresor con vapor de agua	90	9

Tabla 29: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 4

- **Rejilla tipo 5:**



Gráfica 60: TL según tipo de fluido rejilla 5



Gráfica 61: TL en tercios de octava según tipo de fluido rejilla 5

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con aire	89	5
Ruido rosa con metano	90	5
Ruido rosa con vapor de agua	90	4

	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con aire	99	8
Transformador con metano	101	6
Transformador con vapor de agua	102	5

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con aire	82	13
Bomba centrífuga con metano	84	11
Bomba centrífuga con vapor de agua	85	10

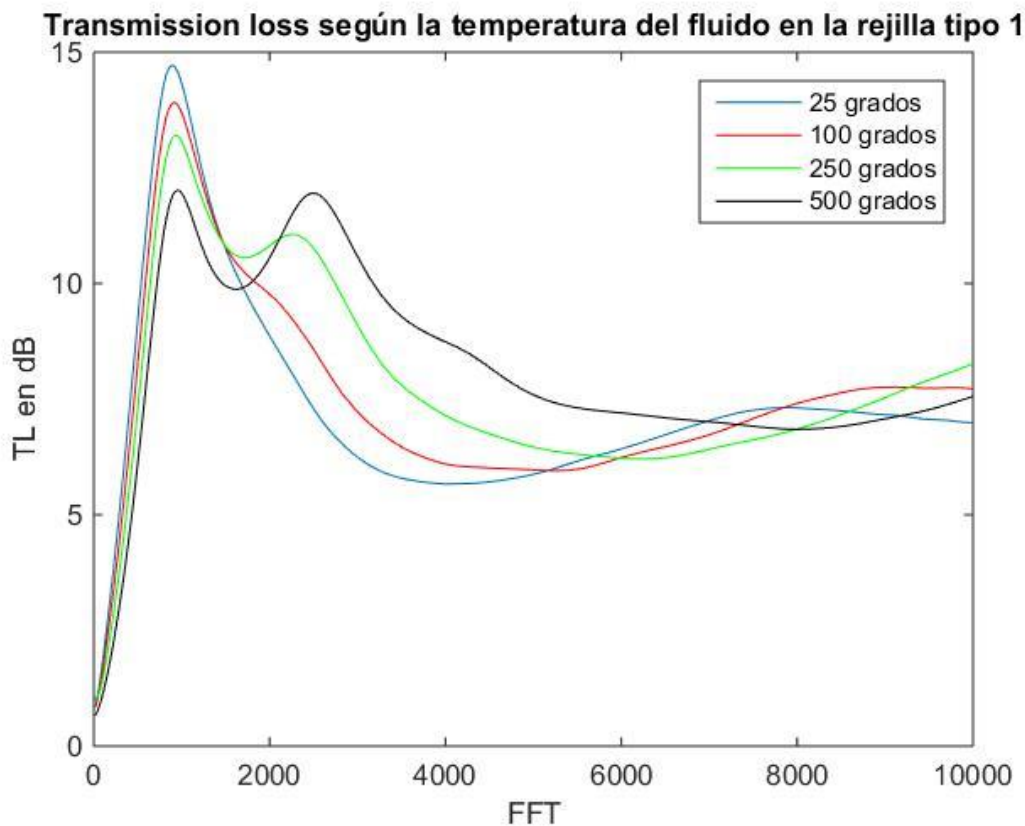
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con aire	91	8
Compresor con metano	92	7
Compresor con vapor de agua	92	7

Tabla 30: Atenuación ruidos según tipo de fluido rejilla 5

4.7. VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL FLUIDO

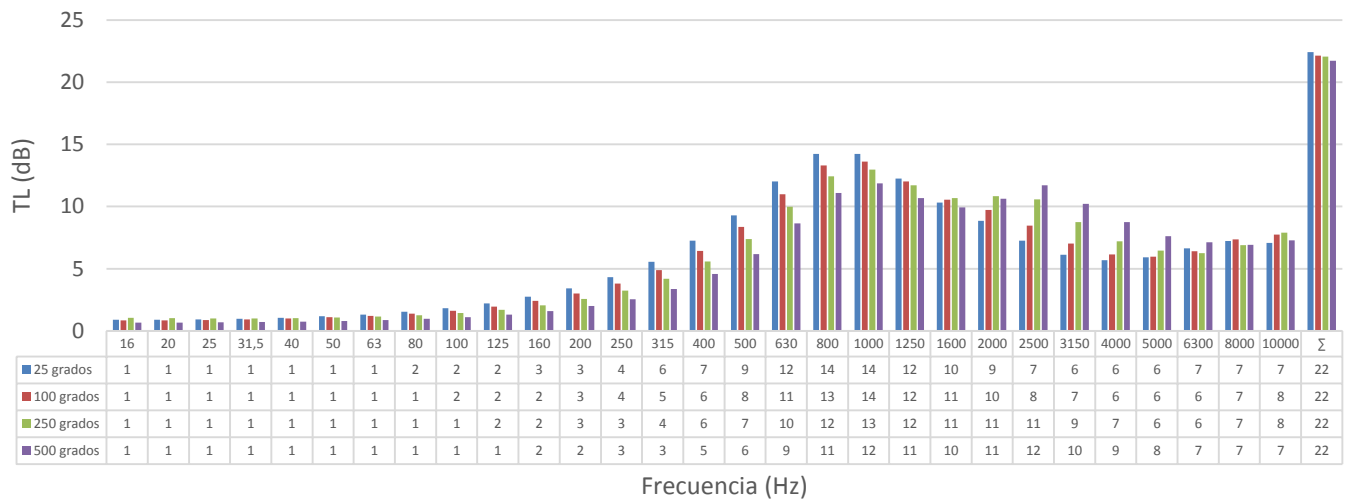
En este apartado se analiza la influencia de la temperatura a la que se encuentre el fluido que atraviesa la rejilla. Para ello, se han hecho simulaciones con temperaturas de 25°, 100°, 250° y 500°. La presión a la que se han medido las propiedades (densidad, viscosidad dinámica y velocidad del sonido) a estas temperaturas es de 1 atm. Posteriormente se valorará la influencia de la temperatura sobre la atenuación ante distintos focos de ruido (ruido rosa, transformador, bomba centrífuga y compresor). Todos los resultados han sido obtenidos sin tener en cuenta el caudal de aire.

- Rejilla tipo 1:



Gráfica 62: TL según temperatura del fluido rejilla 1

Transmission loss según la temperatura del fluido en la rejilla tipo 1



Gráfica 63: TI en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 1

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 25 grados	91	4
Ruido rosa con 100 grados	91	4
Ruido rosa con 250 grados	91	4
Ruido rosa con 500 grados	91	4

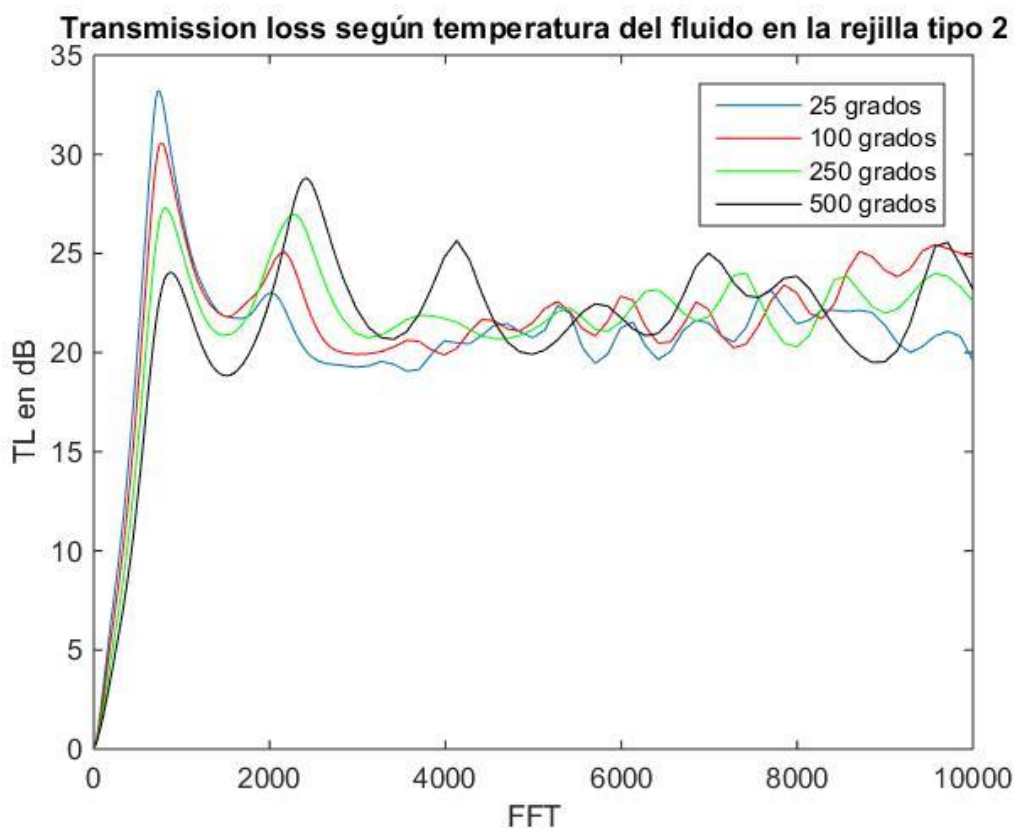
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 25 grados	101	6
Transformador con 100 grados	102	6
Transformador con 250 grados	103	5
Transformador con 500 grados	103	4

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 25 grados	87	8
Bomba centrífuga con 100 grados	87	8
Bomba centrífuga con 250 grados	88	8
Bomba centrífuga con 500 grados	88	7

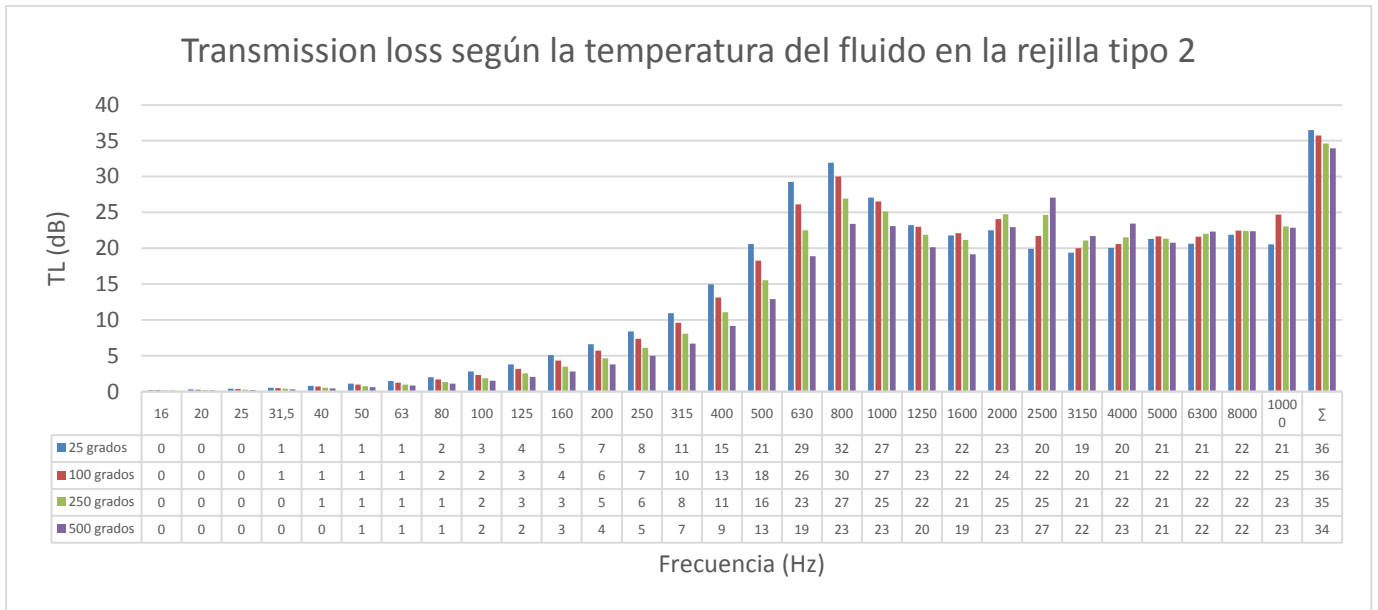
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 25 grados	93	6
Compresor con 100 grados	93	6
Compresor con 250 grados	93	6
Compresor con 500 grados	94	5

Tabla 31: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 1

- **Rejilla tipo 2:**



Gráfica 64: TL según temperatura del fluido rejilla 2



Gráfica 65: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 2

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 25 grados	89	5
Ruido rosa con 100 grados	89	5
Ruido rosa con 250 grados	90	5
Ruido rosa con 500 grados	90	5

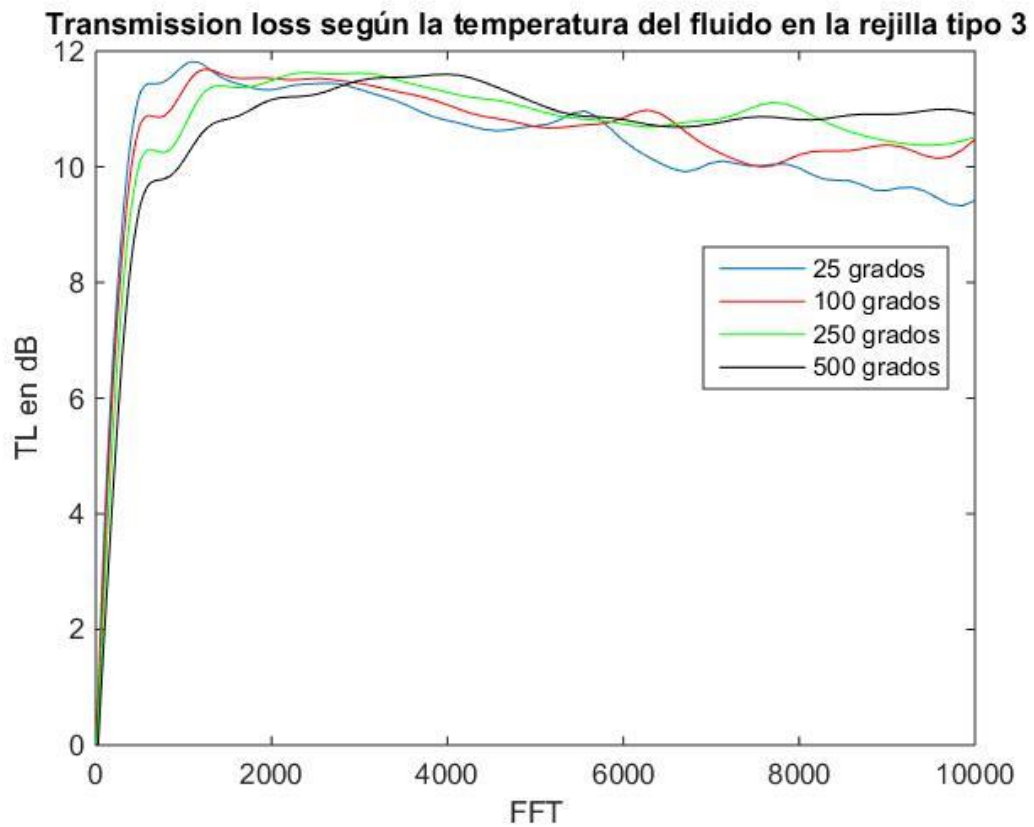
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 25 grados	97	10
Transformador con 100 grados	98	10
Transformador con 250 grados	99	8
Transformador con 500 grados	100	7

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 25 grados	80	15
Bomba centrífuga con 100 grados	81	14
Bomba centrífuga con 250 grados	82	13
Bomba centrífuga con 500 grados	84	12

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 25 grados	90	9
Compresor con 100 grados	91	9
Compresor con 250 grados	91	8
Compresor con 500 grados	92	7

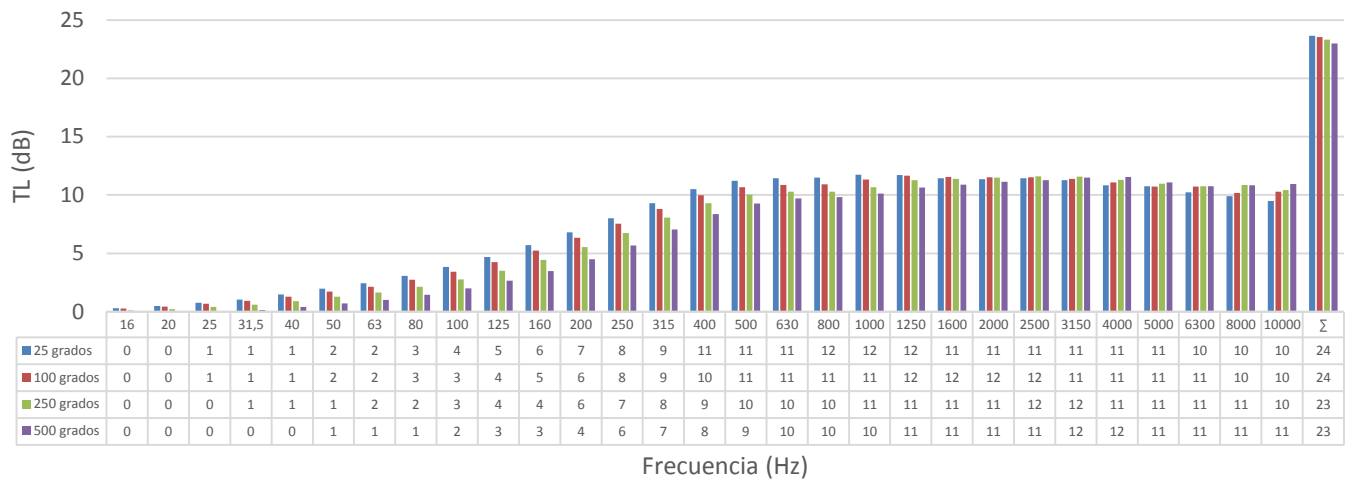
Tabla 32: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 2

- **Rejilla tipo 3:**



Gráfica 66: TL según temperatura del fluido rejilla 3

Transmission loss según la temperatura del fluido en la rejilla tipo 3



Gráfica 67: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 3

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 25 grados	89	5
Ruido rosa con 100 grados	90	5
Ruido rosa con 250 grados	90	5
Ruido rosa con 500 grados	90	4

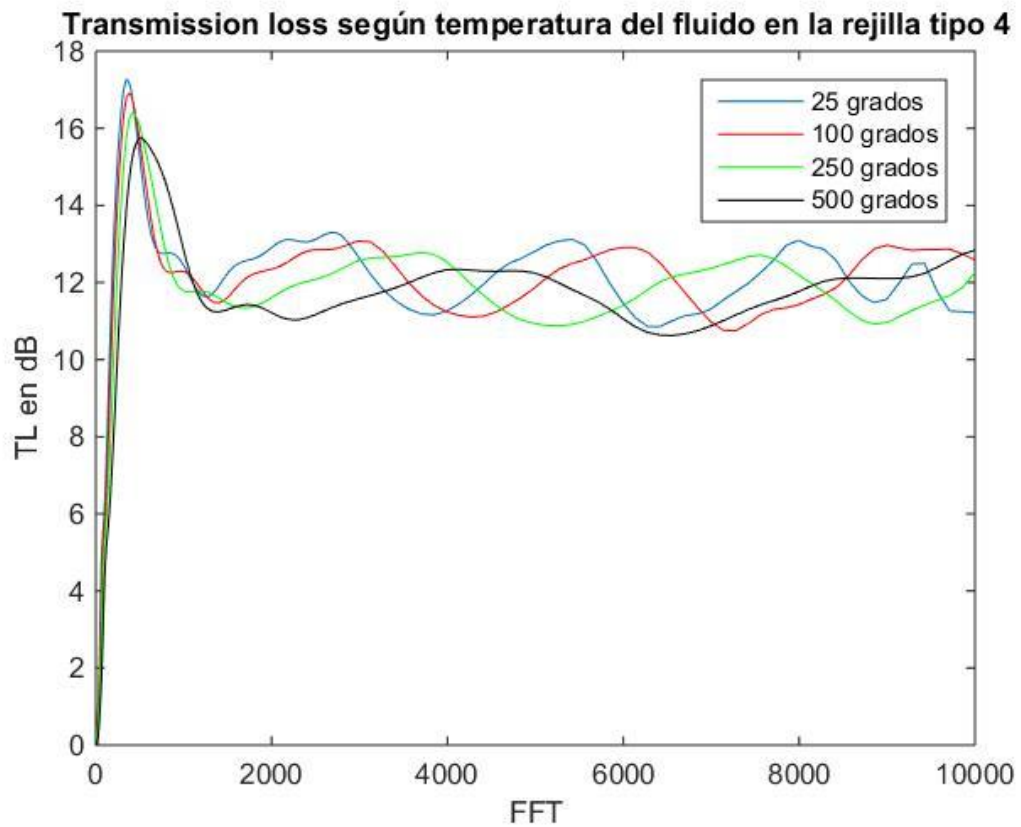
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 25 grados	99	9
Transformador con 100 grados	99	8
Transformador con 250 grados	100	8
Transformador con 500 grados	101	7

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 25 grados	85	11
Bomba centrífuga con 100 grados	85	10
Bomba centrífuga con 250 grados	86	10
Bomba centrífuga con 500 grados	86	9

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 25 grados	91	8
Compresor con 100 grados	91	8
Compresor con 250 grados	92	7
Compresor con 500 grados	93	7

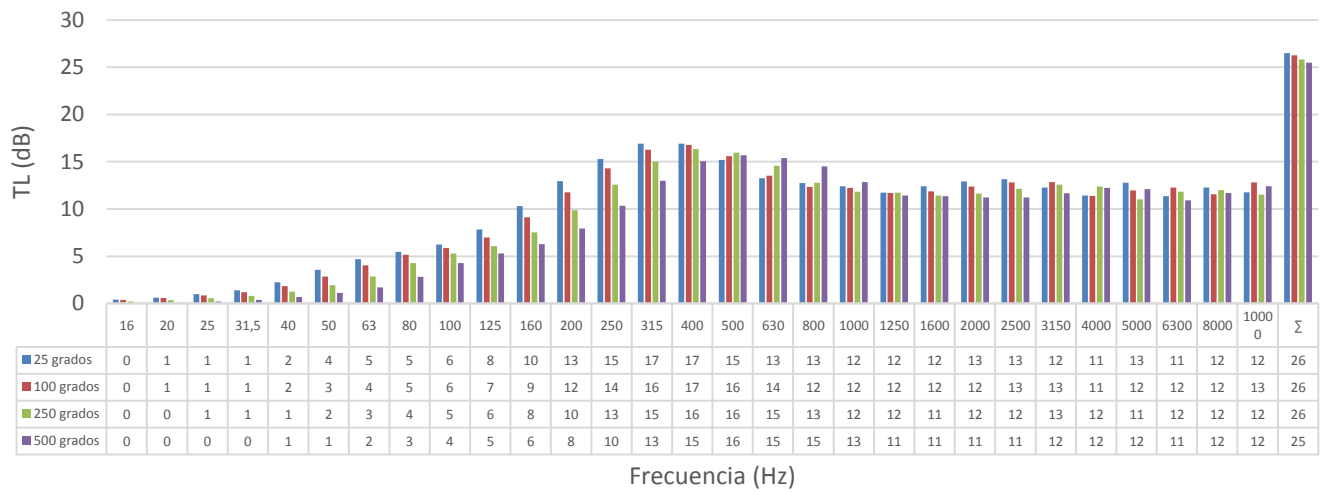
Tabla 33: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 3

- **Rejilla tipo 4:**



Gráfica 68: TL según temperatura del fluido rejilla 4

Transmission loss según la temperatura del fluido en la rejilla tipo 4



Gráfica 69: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 4

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 25 grados	88	7
Ruido rosa con 100 grados	88	6
Ruido rosa con 250 grados	89	6
Ruido rosa con 500 grados	89	5

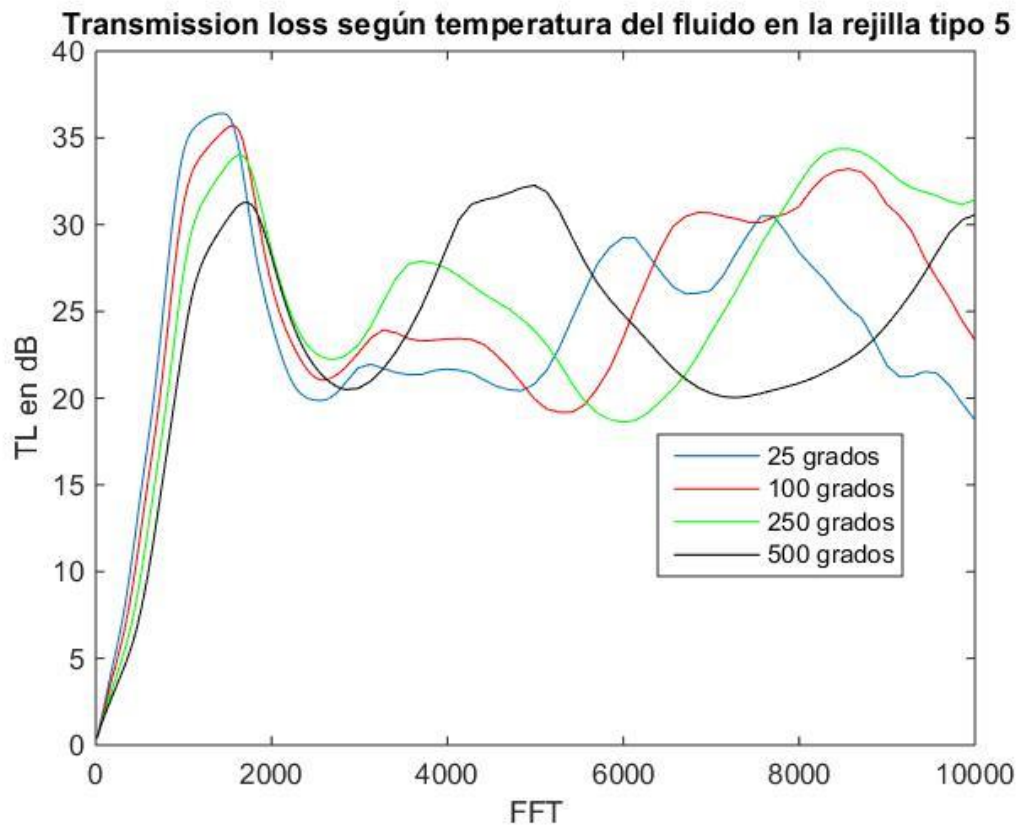
	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 25 grados	94	13
Transformador con 100 grados	94	13
Transformador con 250 grados	95	12
Transformador con 500 grados	96	11

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 25 grados	82	13
Bomba centrífuga con 100 grados	83	13
Bomba centrífuga con 250 grados	83	12
Bomba centrífuga con 500 grados	83	12

	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 25 grados	89	10
Compresor con 100 grados	89	10
Compresor con 250 grados	90	9
Compresor con 500 grados	91	9

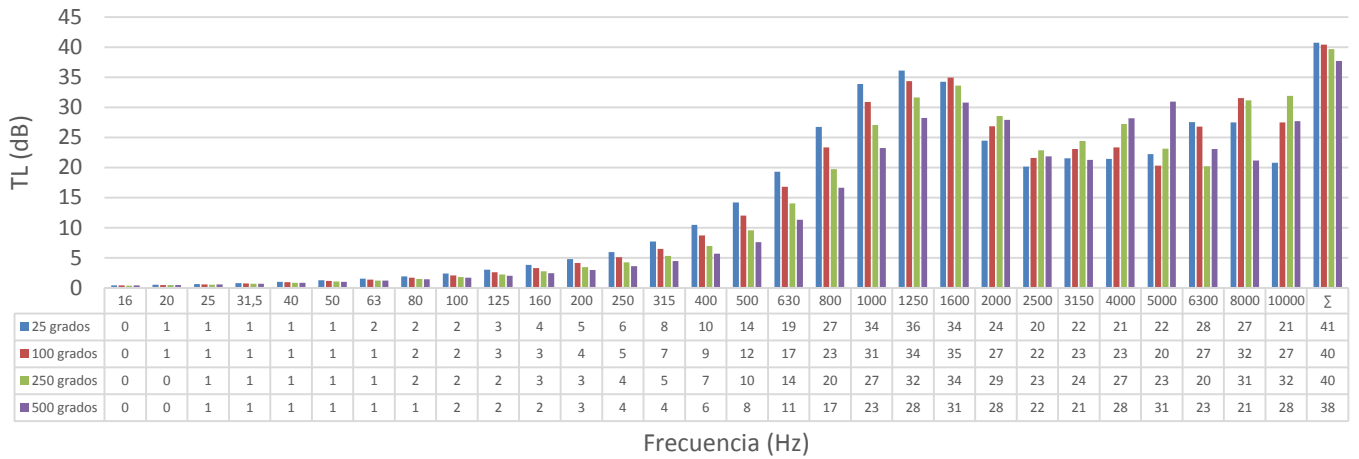
Tabla 34: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 4

- **Rejilla tipo 5:**



Gráfica 70: TL según temperatura del fluido rejilla 5

Transmission loss según la temperatura del fluido en la rejilla tipo 5



Gráfica 71: TL en tercios de octava según temperatura del fluido rejilla 5

	Σ	Atenuación total
Ruido rosa (dB)	95	
Ruido rosa con 25 grados	89	5
Ruido rosa con 100 grados	90	5
Ruido rosa con 250 grados	90	5
Ruido rosa con 500 grados	90	4

	Σ	Atenuación total
Transformador (dB)	107	
Transformador con 25 grados	99	8
Transformador con 100 grados	100	7
Transformador con 250 grados	101	6
Transformador con 500 grados	102	5

	Σ	Atenuación total
Bomba centrífuga (dB)	95	
Bomba centrífuga con 25 grados	82	13
Bomba centrífuga con 100 grados	83	12
Bomba centrífuga con 250 grados	85	11
Bomba centrífuga con 500 grados	86	10

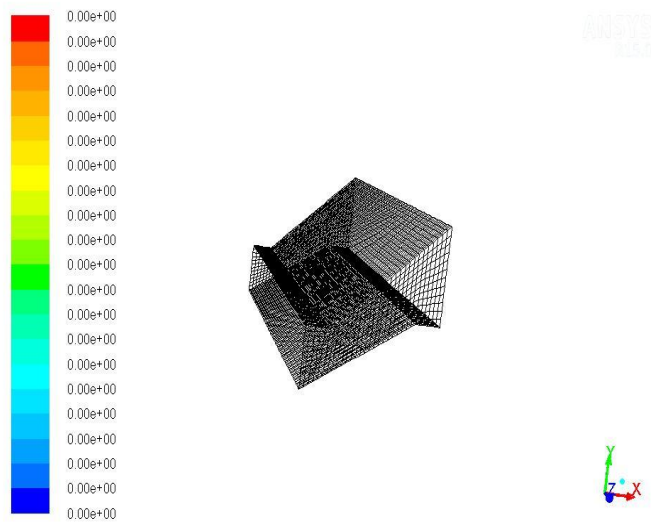
	Σ	Atenuación total
Compresor (dB)	99	
Compresor con 25 grados	91	8
Compresor con 100 grados	91	8
Compresor con 250 grados	92	7
Compresor con 500 grados	92	7

Tabla 35: Atenuación ruidos según temperatura del fluido rejilla 5

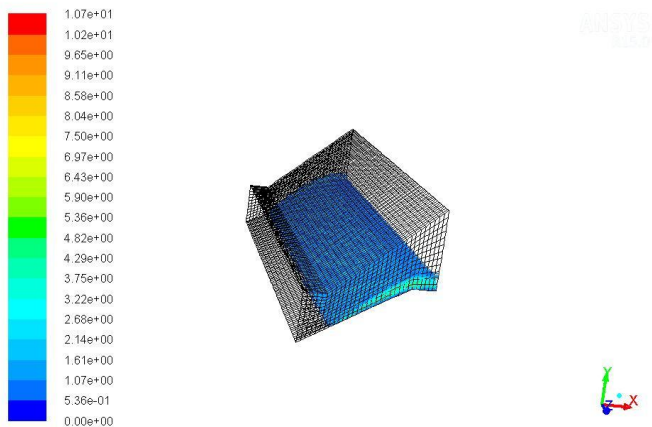
4.8. VARIACIÓN DE LA VELOCIDAD DE ENTRADA DEL FLUIDO

En este último apartado se analiza la influencia de la velocidad de entrada del fluido sobre el ruido regenerado. Como ya se ha comentado previamente, se realiza con el programa Fluent. Para ver cómo afecta este parámetro, se han hecho simulaciones con 2.5, 5, 7.5, 10 y 15 m/s. Es necesario destacar que las rejillas acústicas suelen trabajar en salidas de aire con velocidad de 4 m/s como mucho. No obstante se estudian velocidades más elevadas para estudiar mejor el comportamiento. Se mostrarán dos tablas: en la primera se recogerán los valores máximos de ruido en cada rejilla para cada velocidad de entrada; en la segunda, el ruido que saldrá de la rejilla para cada velocidad, que al fin y al cabo es el resultado más importante. Además, se detallarán todas las gráficas de cada rejilla para cada velocidad, para mostrar el mapa de ruido en cada caso.

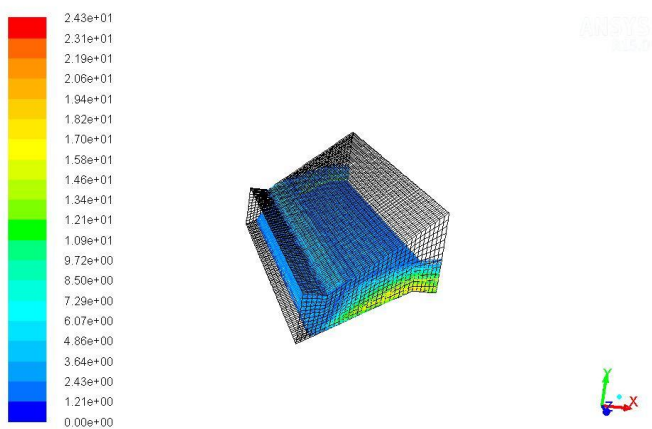
- Rejilla tipo 1:



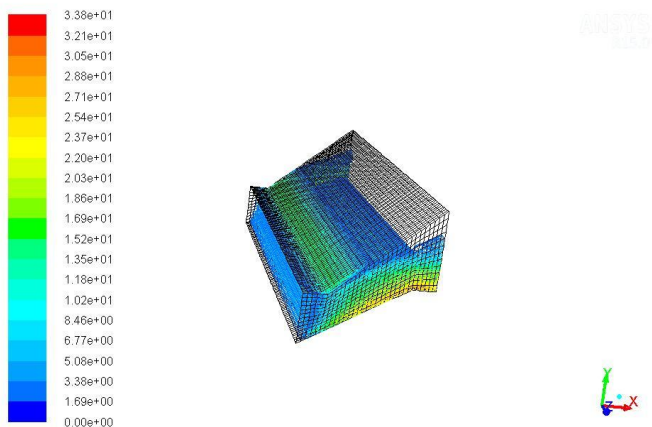
Gráfica 72: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 1



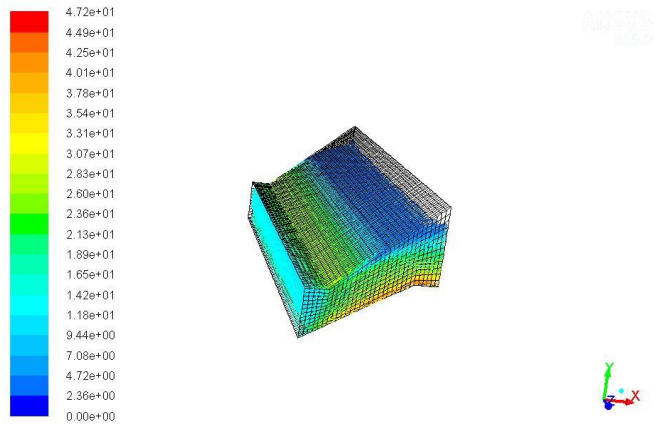
Gráfica 73: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 1



Gráfica 74: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 1

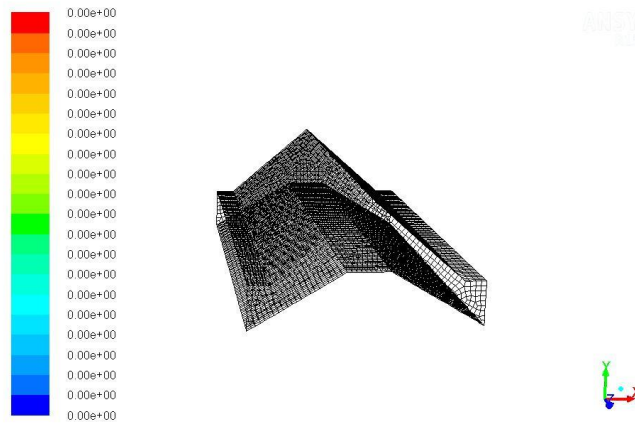


Gráfica 75: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 1

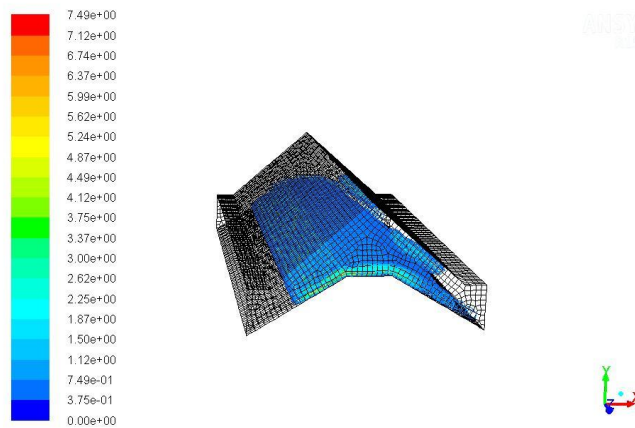


Gráfica 76: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 1

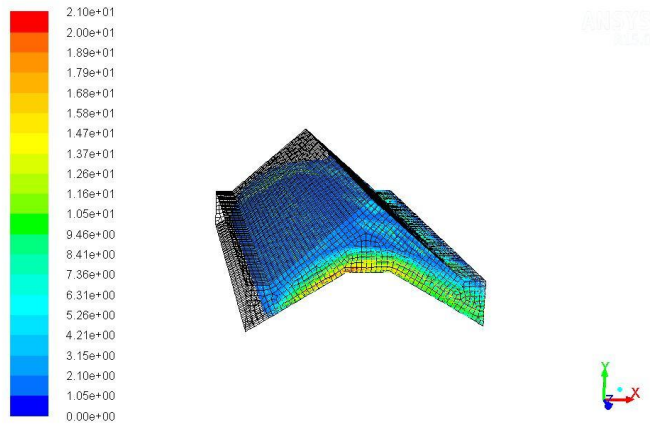
- Rejilla tipo 2:



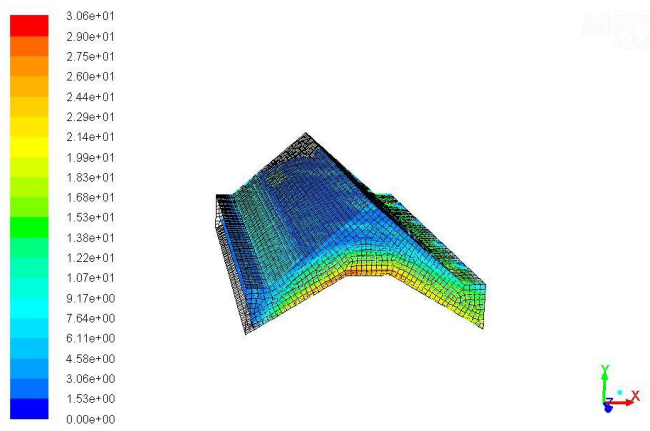
Gráfica 77: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 2



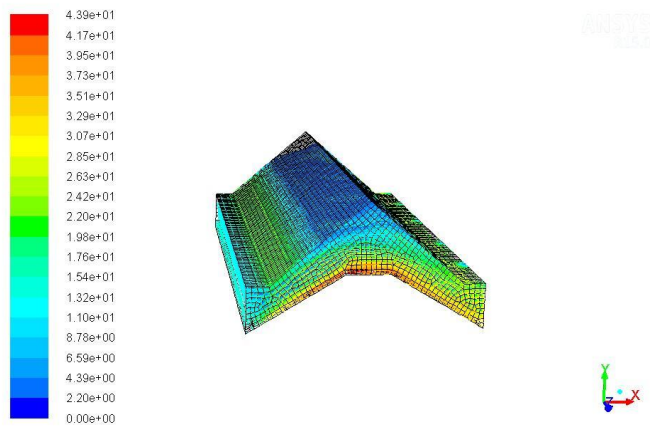
Gráfica 78: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 2



Gráfica 79: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 2

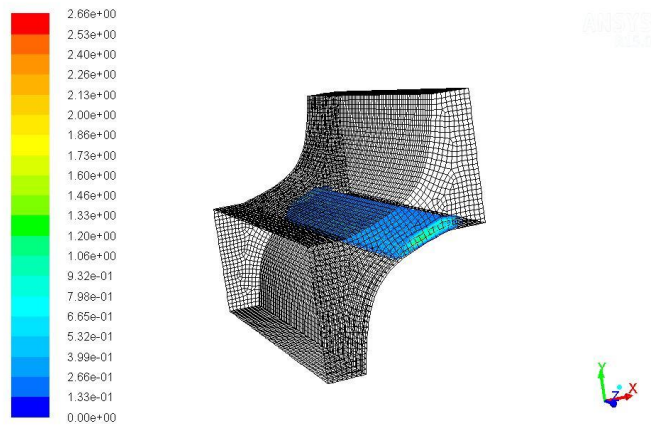


Gráfica 80: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 2

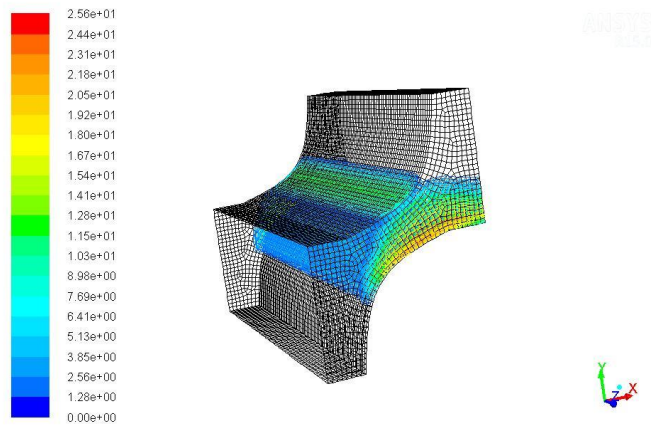


Gráfica 81: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 2

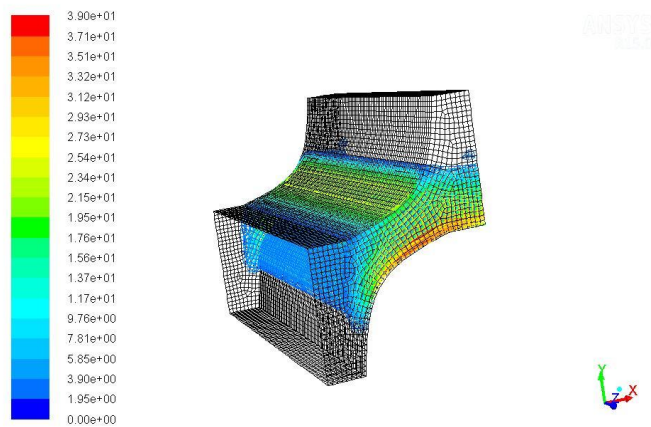
- **Rejilla tipo 3:**



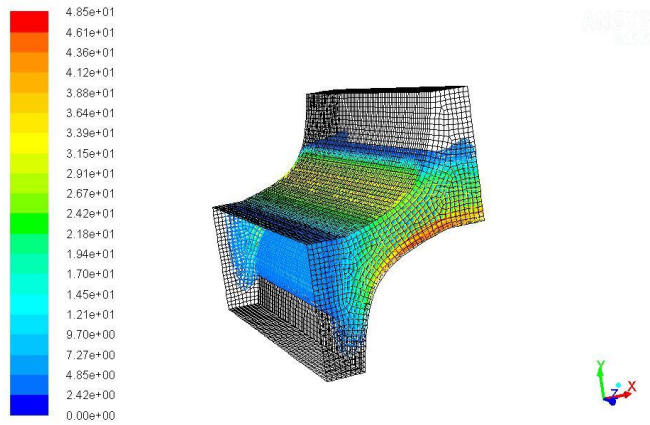
Gráfica 82: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 3



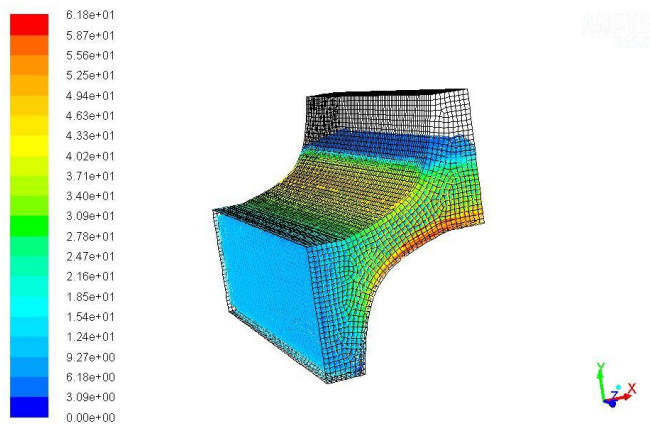
Gráfica 83: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 3



Gráfica 84: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 3

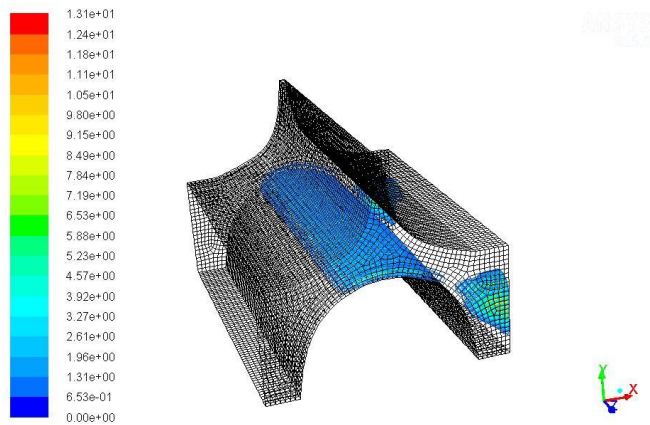


Gráfica 85: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 3

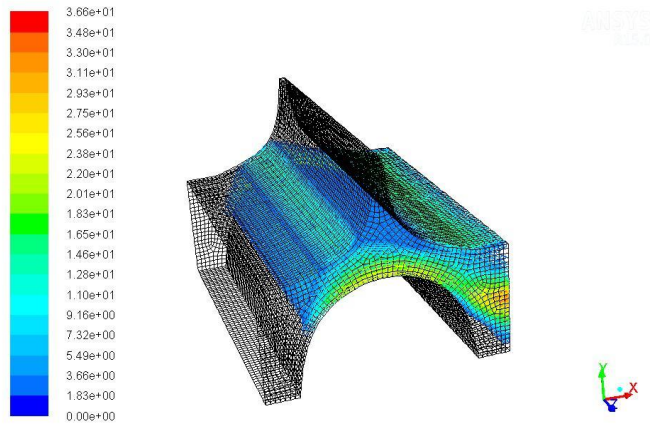


Gráfica 86: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 3

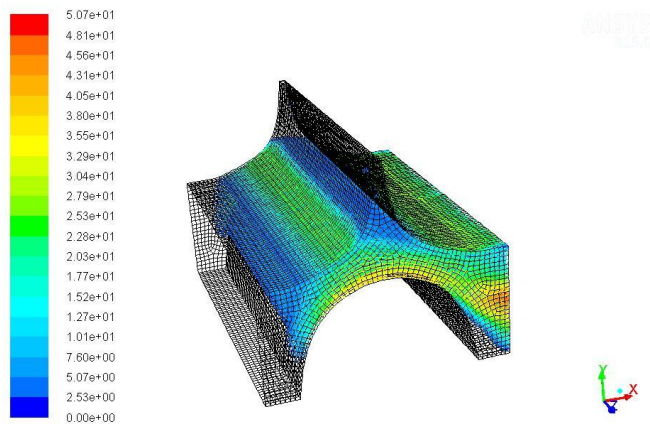
- Rejilla tipo 4:



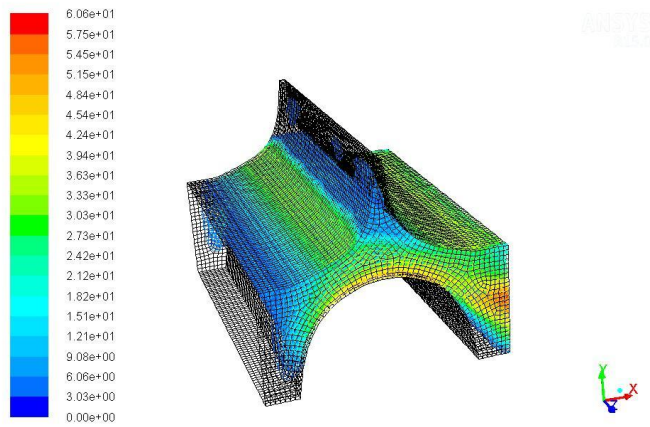
Gráfica 87: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 4



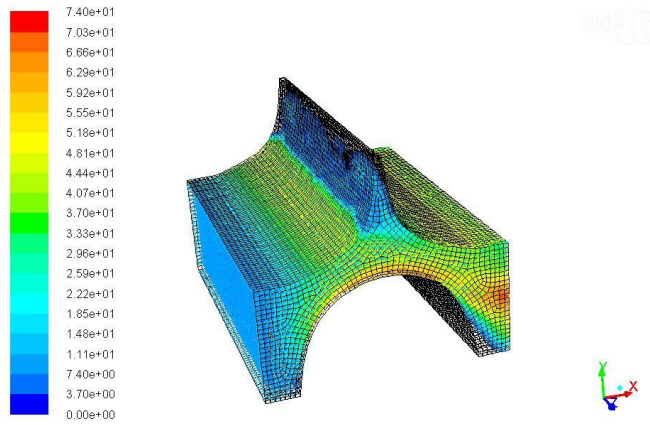
Gráfica 88: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 4



Gráfica 89: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 4

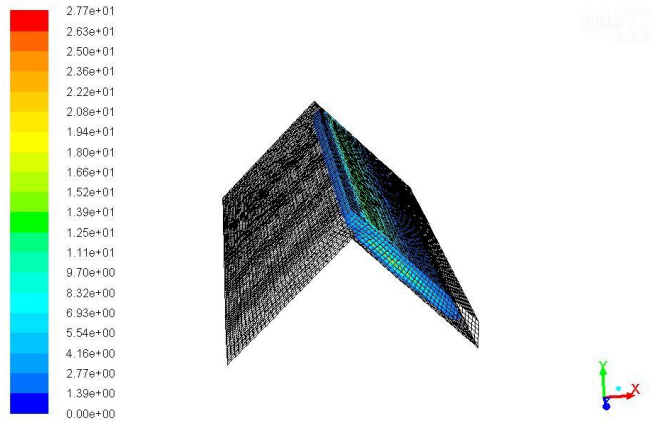


Gráfica 90: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 4

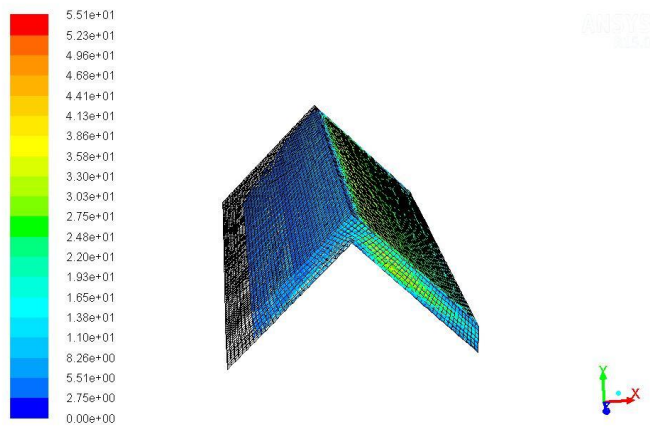


Gráfica 91: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 4

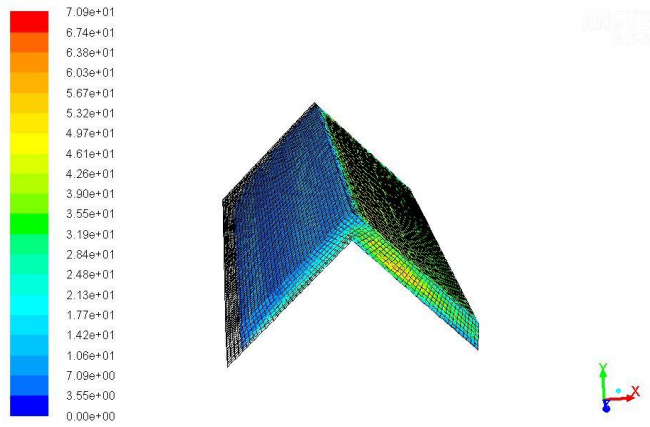
- **Rejilla tipo 5:**



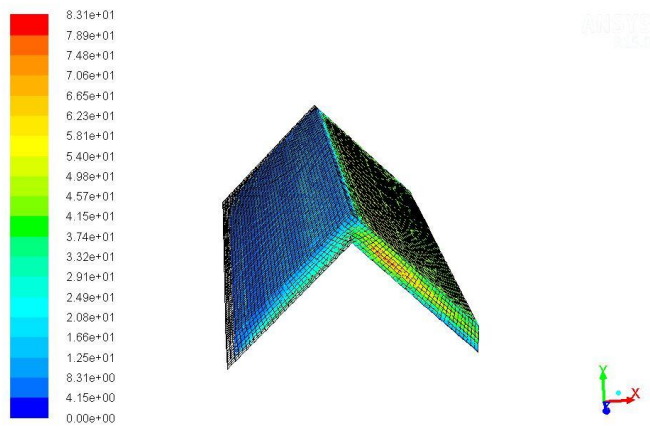
Gráfica 92: Ruido regenerado con 2,5 m/s rejilla 5



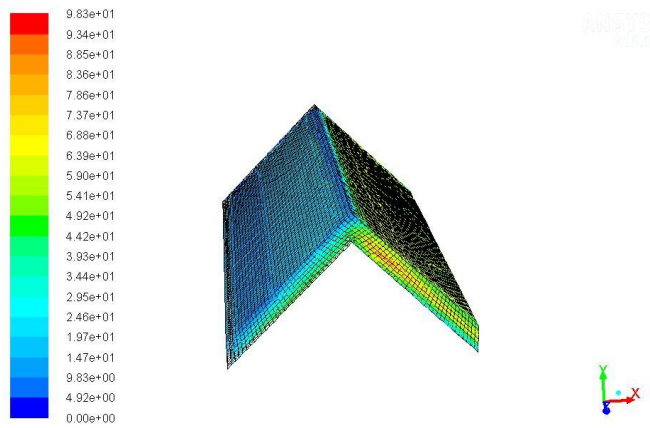
Gráfica 93: Ruido regenerado con 5 m/s rejilla 5



Gráfica 94: Ruido regenerado con 7,5 m/s rejilla 5



Gráfica 95: Ruido regenerado con 10 m/s rejilla 5



Gráfica 96: Ruido regenerado con 15 m/s rejilla 5

El máximo ruido producido en cada caso se recoge en la siguiente tabla:

	VELOCIDADES EN m/s				
	2,5	5	7,5	10	15
REJILLA 1	0,0	10,7	24,3	33,8	47,2
REJILLA 2	0,0	7,5	21,0	30,6	43,9
REJILLA 3	2,7	25,6	39,0	48,5	61,8
REJILLA 4	13,1	36,6	50,7	60,6	74,0
REJILLA 5	27,7	55,1	70,9	83,1	98,3

Tabla 36: Máximos valores del ruido regenerado en cada rejilla

El ruido regenerado que sale de cada rejilla en cada caso se muestra en la siguiente tabla:

	VELOCIDADES EN m/s				
	2,5	5	7,5	10	15
REJILLA 1	0,0	0,5	1,7	2,8	6,3
REJILLA 2	0,0	0,0	3,7	10,3	20,6
REJILLA 3	0,0	0,8	1,9	3,0	6,5
REJILLA 4	0,3	3,0	6,8	10,4	16,8
REJILLA 5	0,0	18,5	34,0	44,8	60,0

Tabla 37: Ruido regenerado que sale de cada rejilla

5. CONCLUSIONES

Este último capítulo recoge las conclusiones obtenidas durante el trabajo de investigación realizado. Antes de presentarlas, consideramos necesario hacer varias consideraciones previas.

Durante la realización de las simulaciones, hemos aprendido que uno de los aspectos más importantes a tener en cuenta es el mallado de la geometría, ya que los resultados varían mucho según su precisión. Si la malla no es lo suficientemente pequeña, la fiabilidad de los mismos será bastante pobre y no se asemejarán a la realidad. Sin embargo, una malla muy refinada, aunque obtengamos resultados muy buenos, implicará tiempos de cálculo muy elevados. La malla debe ser más fina a medida que aumenta la frecuencia que queramos analizar. Por tanto, habrá que llegar a un equilibrio para que el tiempo de cálculo no se haga eterno y los resultados sean fiables.

Otro factor importante durante las simulaciones es el tipo de elemento geométrico que se le dé a la malla. Al definir las placas de acero perforadas (usando el comando “port” que se ha comentado anteriormente) será obligatorio que las dos caras de la misma tengan el mismo número de elementos y todos ellos con la misma forma. Por ello, habrá que utilizar elementos hexagonales en lugar de tetraédricos.

A partir del objetivo y el alcance marcados en el segundo capítulo, y una vez se han realizado todas las simulaciones variando los distintos parámetros de diseño, se ha llegado a las siguientes conclusiones sobre la influencia de los mismos en la curva de atenuación de las rejillas acústicas:

1- Comparación de los 5 modelos de rejilla:

- Al introducir la placa perforada, los resultados de atenuación sufren una variación de 1-2 dB, siendo de esta forma más fiables.
- La rejilla tipo 5 es la que tiene mejores resultados de atenuación en alta frecuencia (a partir de los 1000 Hz), seguida de la tipo 2.
- En baja frecuencia (hasta los 400 Hz) la que produce una mayor atenuación es la rejilla tipo 4.
- Ante ruido rosa, ruido de un transformador y ruido de un compresor, la rejilla que presenta mayor atenuación es la tipo 4, quitando unos 7 dB, 13 dB y 10 dB, respectivamente.

- La rejilla tipo 2 es la más recomendable en el caso de tener ruido procedente de una bomba centrífuga, consiguiendo reducirlo en unos 15 dB.
- 2- Variación del paso de aire entre baffles:
- Al disminuir el % de superficie libre de paso de aire se observa un desplazamiento de la curva de atenuación hacia arriba y la derecha.
 - Además, se produce un aumento significativo de la pérdida de carga en las rejillas 1, 2 y 5:
 - Al disminuir un 25 % la superficie libre en las rejillas 1 y 2 se aumenta 9 dB y 19 dB, respectivamente. Sobre todo existe un gran aumento en media-alta frecuencia (entre 800 y 4000 Hz).
 - Al disminuir un 20% la superficie libre en la rejilla 5 aumenta la atenuación 28 dB. Entre los 1000 y 2500 Hz es donde se produce el mayor aumento de la pérdida de carga.
 - Sin embargo, en las rejillas 3 y 4, este parámetro no provoca un aumento tan grande de la atenuación. Al disminuir un 8% la superficie libre en ambas rejillas la pérdida de carga aumenta solo 3 dB.
 - La disminución de este parámetro es más efectiva para disminuir el ruido procedente de una bomba centrífuga.
- 3- Variación del espesor de la placa perforada:
- Este parámetro tiene poca influencia en la atenuación de la rejilla (apenas 1 dB al aumentar 7 mm el espesor de la placa).
 - Se consigue un ligero aumento de la atenuación en bajas y medias frecuencias (hasta los 1000 Hz) al aumentar el espesor.
 - En altas frecuencias, al aumentar el espesor disminuye la atenuación levemente.
 - Será recomendable aumentar el espesor de la placa cuando el foco de ruido produzca un espectro que predomine en baja frecuencia, como es el caso de un transformador.
- 4- Variación del diámetro de las perforaciones:
- Aumentar el diámetro de las perforaciones provoca un decremento de la atenuación en altas frecuencias, mientras que en bajas y medias frecuencias no influye.

- Realizar perforaciones de distintos diámetros conlleva un pequeño desplazamiento de la curva de atenuación hacia la derecha y hacia arriba.
 - El diámetro de las perforaciones apenas tiene influencia sobre los espectros de ruido estudiados, puesto que solo se produce una pequeña disminución de la pérdida de carga en alta frecuencia.
- 5- Variación de la superficie de paso de la placa perforada:
- En bajas frecuencias se consigue un aumento de la atenuación al disminuir la superficie de paso.
 - A partir de la frecuencia de resonancia al aumentar la superficie de paso se produce un aumento de la atenuación.
 - Si se quiere reducir el ruido de un transformador la superficie de paso debe ser lo más pequeña posible.
 - Si se quiere reducir el ruido de una bomba centrífuga o de un compresor, la superficie de paso debe ser lo más grande posible.
- 6- Variación del fluido que pasa por la rejilla:
- El aire es el fluido de los 3 que se han analizado que provoca un mejor comportamiento acústico de la rejilla, en cualquiera de los tipos de ruido que se han estudiado.
 - El vapor de agua es el que peores resultados acústicos proporciona.
- 7- Variación de la temperatura del fluido:
- Aumentar la temperatura del fluido produce un decremento de la atenuación, especialmente en bajas frecuencias.
 - El aumento de esta temperatura implica peores resultados en la atenuación ante cualquiera de los ruidos analizados.
- 8- Variación de la velocidad de entrada del fluido:
- Aumentar la velocidad de entrada del fluido tiene efectos perjudiciales en el ruido regenerado en las rejillas, ya que están diseñadas para velocidades menores de 4 m/s.
 - La rejilla tipo 5 es la que más se ve afectada por el ruido regenerado, por lo que será muy importante no superar los 7.5 m/s.
 - Las rejillas 1 y 3 tienen muy buen comportamiento ante el ruido regenerado. Esto es debido en el caso de la 3 a que tiene un perfil aerodinámico. En el caso de la 1, se debe a que no existen cambios bruscos de sección que provoquen este fenómeno.

6. REFERENCIAS

- [1] Flores, P. *Manual de acústica, ruido y vibraciones*. GYC, Barcelona, 1990.
- [2] Pérez, M.C. Proyecto *Atenuación del sonido en conductos*. Universidad de Sevilla, 2009.
- [3] Pérez, D. Proyecto *Modelado acústico de silenciadores*. Universidad de Sevilla, 2012.
- [4] D'Antonio, P and Konner, J. *The reflection phase grating diffusor: Design theory and application*. USA, 1984.
- [5] Denia, F.D. *Modelado del comportamiento acústico de silenciadores de escape mediante técnicas analíticas y el método de elementos finitos*, Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Valencia, 2004.
- [6] <http://contaminacionacustica.net/efectos-de-la-contaminacion-acustica-sobre-la-salud/>
- [7] <http://es.scribd.com/doc/28683850/INFLUENCIA-DE-LA-PRESION-Y-LA-TEMPERATURA-SOBRE-LA-VISCOSIDAD#scribd>
- [8] <http://www.inasel.com/Productos/Silenciadores-y-rejillas.html>
- [9] <http://www.acusticanerva.com/soluciones-acusticas-cerramientos-acusticos.php>
- [10] <http://www.inercoacustica.com/rejillas-acusticas>
- [11] <http://www.taisal-aproin.com/categoria/56/rejillas-acusticas.html>
- [12] <http://www.mece.ualberta.ca/tutorials/ansys/>
- [13] <https://confluence.cornell.edu/display/SIMULATION/FLUENT+Learning+Modules>
- [14] <http://www.inerco.com/es/inerco-corporacion/tecnologia/control-de-ruidos-y-vibraciones/control-del-ruido-en-la-industria-2/academia>