

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**

ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

GRADO EN ING. EN SISTEMAS DE TELECOMUNICACIÓN, IMAGEN Y SONIDO



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

---

**“Estudio de la contaminación acústica  
en la población de Rótova.”**

---

**Autora: Andrea Fernández Escrivà**

*Tutores: Joan Martínez Mora e Isabel Pérez Arjona*

*Trabajo final de grado | Gandía, 2020*

## **RESUMEN**

---

En la realización de este TFG se va a llevar a cabo un estudio del impacto acústico que genera el polígono industrial en el municipio de Rótova y en concreto sobre las zonas residenciales, los centros de salud, colegios, residencias de ancianos, etc.

Se analizarán dichas zonas de interés para determinar la localización de los puntos de medida. Se llevará a cabo una campaña de medidas y se elaborará un mapa de ruido, en el que se tendrá en cuenta el ruido ocasionado tanto por la actividad del polígono como por el tráfico rodado en la población y en las proximidades de la población fundamentalmente por la autovía CV-60.

## **PALABRAS CLAVE**

Mapa de ruido, Contaminación Acústica, Predicción Acústica, Rótova.

## **ABSTRACT**

---

In this Project we will study the acoustic impact that is generated by the industrial park in Rótova. We will see how the noise affects residential areas, health centers, schools, nursing homes, etc.

These areas of interest will be analyzed to determine the location of the measurement points. A campaign of measures will be held and at the end, we will elaborate a noise map, which will consider the noise caused by the industrial park and the road traffic in its surroundings.

## **KEY WORDS**

Noise map, Noise Pollution, Acoustic Prediction, Rótova.

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>5</b>
<b>1.1. Objetivos</b> .....	<b>5</b>
1.1.1. Objetivos principales .....	5
1.1.2. Objetivos secundarios.....	5
<b>1.2. El ruido y la contaminación acústica</b> .....	<b>5</b>
1.2.1. Riesgos en la salud y el medioambiente .....	6
<b>1.3. Metodología</b> .....	<b>7</b>
<b>1.4. Etapas</b> .....	<b>7</b>
<b>1.5. Problemas</b> .....	<b>8</b>
<b>2. LEGISLACIÓN</b> .....	<b>9</b>
<b>2.1. Legislación nacional</b> .....	<b>9</b>
<b>2.2. Legislación autonómica</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3. Legislación local</b> .....	<b>10</b>
<b>3. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1. El sonómetro</b> .....	<b>11</b>
3.1.1. Configuración del sonómetro.....	12
<b>3.2. Micrófono, calibrador y preamplificador</b> .....	<b>12</b>
<b>3.3. Otra instrumentación</b> .....	<b>13</b>
<b>4. TOMA DE MEDIDAS</b> .....	<b>14</b>
<b>4.1. Zona de estudio</b> .....	<b>14</b>
<b>4.2. Puntos de medida</b> .....	<b>15</b>
4.2.1. Caudal de vehículos .....	22
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>23</b>
<b>5.1. Nivel sonoro equivalente</b> .....	<b>23</b>
<b>5.2. Cálculo de incertidumbres en la medida</b> .....	<b>24</b>
5.2.1. Incertidumbre debida a la instrumentación .....	25
5.2.2. Incertidumbre debida a las condiciones de operación .....	25
5.2.3. Incertidumbre debida al clima y al suelo .....	26
5.2.4. Incertidumbre debida al sonido residual .....	28
5.2.5. Incertidumbre típica combinada .....	29
<b>5.3. Cumplimiento de la normativa</b> .....	<b>30</b>
<b>6. SIMULACIÓN</b> .....	<b>32</b>
<b>6.1. Predictor, software de simulación</b> .....	<b>32</b>

<b>6.2.</b> Resultados de la simulación .....	<b>32</b>
<b>6.3.</b> Comparación de los resultados.....	<b>33</b>
<b>7. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA .....</b>	<b>37</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>38</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>39</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Rótova cuenta con un polígono industrial el cual está situado muy cerca de la zona urbana. Vamos a realizar un estudio acústico mediante el cual tomaremos medidas en distintos puntos de interés que nos permitirán elaborar un mapa de ruido para el que se contará con instrumental especializado. Con el resultado, determinaremos la contaminación acústica causada por dicho polígono sobre la población y comprobaremos si los niveles sonoros cumplen las legislaciones y normativas de ruido vigentes.

### 1.1. OBJETIVOS

#### 1.1.1. Objetivos principales

El objetivo principal de este trabajo es determinar si se cumple la legislación de ruido tanto a nivel autonómico como a nivel nacional.

Se evaluarán los niveles sonoros emitidos por el polígono industrial, así como el ruido causado por el tráfico de vehículos que circulan por la propia población, el polígono y la autovía CV-60.

#### 1.1.2. Objetivos secundarios

Como objetivos secundarios, se verán los posibles efectos de dicha contaminación acústica sobre la población y posibles propuestas de mejora.

### 1.2. EL RUIDO Y LA CONTAMINACIÓN ACÚSTICA

La contaminación acústica, según la ley 37/2003 del Ruido, son aquellos ruidos o vibraciones - sin importar qué los genera- que suponen una molestia, riesgo o daño para las personas y el desarrollo de actividades de las mismas o que causen efectos significativos sobre el medio ambiente. Aunque el ruido no se acumula o mantiene en el tiempo como lo hacen otros elementos contaminantes, también puede causar grandes daños. Para evaluar este impacto, se realiza un mapa estratégico de ruido, el cual es definido según la Directiva 2002/49/CE como un mapa diseñado para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de fuentes de ruido o, para poder realizar las predicciones globales para dicha zona.

El oído humano, solo es capaz de percibir sonidos dentro del rango de frecuencias de entre 20 Hz y 20 kHz. Las características de la fuente de sonido por la cual se emite el mismo determinarán sus valores de presión, potencia e intensidad. El rango audible para el oído humano o también denominado como “umbral del dolor”, será el comprendido entre el límite audible (aproximadamente en 0 dB) hasta el límite del dolor (más de 120 dB). El nivel del sonido, como hemos visto, se mide en decibelios (dB) en escala logarítmica o en pascales (Pa) en escala lineal. Un pequeño incremento en decibelios representa un gran incremento de energía sonora. Técnicamente, un incremento de tan sólo 3 dB representa multiplicar por dos la energía sonora y un incremento de 10 dB representa multiplicarla por 10. El oído, sin embargo, percibe un incremento de 10 dB como el doble de ruido.



Figura 1. Diferentes niveles de ruido entre el Umbral de audición y el Umbral del dolor.

### 1.2.1. Riesgos en la salud y el medioambiente

La exposición al ruido puede tener efectos negativos para la calidad de vida de las personas y el medioambiente. Una sobrexposición prolongada en ambientes ruidosos puede tener efectos perjudiciales como dificultad de atención, de comunicación y problemas de salud, como insomnio o molestias en el sueño. Si se repiten estas situaciones, pueden dar lugar a estados crónicos de nerviosismo y estrés, que pueden derivar en otros trastornos psicofísicos, enfermedades cardiovasculares, alteraciones del sistema inmunitario o pérdida de la capacidad auditiva.

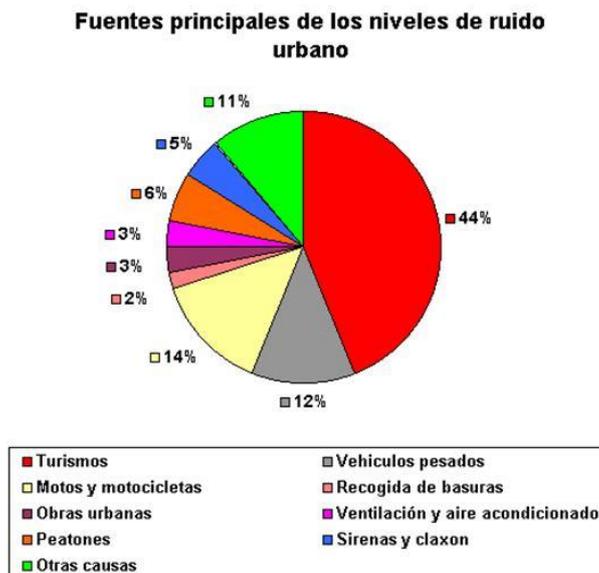


Figura 2. Fuentes principales de ruido.

Pérdida de audición (dB)	FRECUENCIA (Hz)					
	125	250	500	1000	2000	4000
0	Audición <b>normal</b>					
10						
20						
30	Pérdida de audición <b>leve</b>					
40						
50	Pérdida de audición <b>moderada</b>					
60						
70						
80	Pérdida de audición <b>severa</b>					
90						
100	Sordera <b>profunda</b>					
110						
120						

*Tabla 1. Diferentes grados de hipoacusia en función de la pérdida auditiva del paciente.*

En lo relativo a la naturaleza, existen zonas protegidas donde a mayor grado de silencio, mayor es la biodiversidad de especies animales y vegetales en este. El ruido causa muchos efectos en los animales:

- Las aves dependen de la escucha para localizar a sus presas.
- El ruido perturba los patrones de alimentación y cría de algunos animales.

### 1.3. METODOLOGÍA

---

Para llevar a cabo el proyecto, dispondremos diferentes puntos sobre los cuales tomar las medidas a diferentes horas durante el día. En este estudio, se tomarán medidas en la franja horaria diurna de 8:00h a las 22:00h. El tiempo de duración de cada medida será de 10 minutos y se realizarán 3 medidas por punto. Durante el tiempo que dure cada medida, se debe calcular el caudal de tráfico existente contando el número de vehículos ligeros y pesados que circulen en ese momento por la vía y estos datos se utilizarán para la posterior simulación acústica.

Cabe recalcar que las 3 medidas de cada punto se realizarán en días distintos y a horas distintas para que los resultados sean lo más realistas posible.

### 1.4. ETAPAS

---

Las etapas que vamos a seguir en el desarrollo de este proyecto son:

1. Determinar los puntos donde se tomarán las medidas.
2. Realizar un mapa de nivel de la zona de estudio.
3. Tomar las medidas tal como se explica en la metodología.
4. Importar las medidas con la ayuda del software BZ.5503.
5. Realizar el mapa de ruido con la ayuda del programa de simulación Predictor V.2019
6. Análisis y comparativa de resultados.

## **1.5. PROBLEMAS**

---

La toma de medidas tuvo que ser dividida en dos partes, ya que se empezaron a tomar medidas en el mes de marzo, pero debido a la pandemia del covid-19 y el posterior confinamiento, no fue posible desplazarse a Rótova de nuevo hasta el mes junio.

Otro de los problemas fue el no poder desplazarse a la universidad a hacer la simulación con el software de simulación Predictor, por lo que se tuvo que utilizar este software vía remota mediante la conexión remota VPN de la UPV y el programa TeamViewer. Esta forma de trabajar “online” nos ocasionó bastantes dificultades debido a cortes de luz que producían el apagado del ordenador.

## 2. LEGISLACIÓN VIGENTE

### 2.1. LEGISLACIÓN NACIONAL

La legislación estatal aplicada es la que consta en la Ley 37/2003 del ruido, que está complementada por los siguientes decretos posteriores: Real Decreto 1513/2005 del 16 de diciembre de 2005 y el Real Decreto 1367/2007 del 16 de diciembre de 2005, en los cuales se dota de reglamento la Ley de Ruido.

Entre estos reglamentos encontramos que existe un límite aplicable de nivel sonoro para cada tipo de área y que es diferente según la franja horaria del día:

Tipo de área acústica		Índices		
		L <sub>d</sub> (dBA)	L <sub>e</sub> (dBA)	L <sub>n</sub> (dBA)
<b>E</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica	60	60	50
<b>A</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso residencial.	65	65	66
<b>D</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso terciario distinto del contemplado en c).	70	70	65
<b>C</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
<b>B</b>	Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
<b>F</b>	Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen. (1)	/	/	/

*Tabla 2. Límites de nivel sonoro según el tipo de área.*

### 2.2. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

La legislación de protección contra la contaminación acústica vigente en la Comunidad Valenciana es la Ley 7/2002 del 3 de diciembre con el objetivo de prevenir, vigilar y corregir dicha contaminación.

Posterior a esta ley se desarrollaron dos decretos, el Decreto 266/2004 del 3 de diciembre en el cual se reglamentan las normas de Prevención y corrección de la contaminación acústica en relación con actividades, instalaciones, edificaciones, obras y servicios, y el Decreto 104/2006 del 14 de julio, de Planificación y Gestión en materia de contaminación acústica.

En la legislación autonómica, a diferencia de la estatal, se dividirá el horario en dos periodos en lugar de tres: 'día' u horario diurno (el periodo comprendido entre las 8:00h y las 22:00h) y 'noche' u horario nocturno (el periodo comprendido entre las 22:00h y las 8:00h).

También se establece que el instrumental para realizar las mediciones de niveles sonoros serán sonómetros integradores-promediadores y calibradores sonoros que cumplan con la Orden 16 de diciembre de 1998, que contiene la normativa vigente reguladora del control metrológico del estado sobre instrumentos destinados a medir niveles de sonido audible (tipo o clase 1).

Los niveles de ruido se medirán y expresarán en decibelios con ponderación normalizada A (dBA). A continuación, se detallan los niveles máximos de presión sonora permitidos en exterior:

Uso dominante	Nivel sonoro dB(A)	
	Día	Noche
Sanitario y docente	45	35
Residencial	55	45
Terciario	65	55
Industrial	70	60

*Tabla 3. Límites de presión sonora según los usos.*

### **2.3. LEGISLACIÓN LOCAL**

---

El municipio de Rótova no cuenta con ninguna normativa local del ruido por lo que se ha procedido a aplicar en este proyecto la legislación de la GVA y nacional.

### 3. INSTRUMENTACIÓN UTILIZADA

Los instrumentos utilizados para la toma de medidas del ruido en Rótova son los siguientes:

- Sonómetro Bruel & Kjaer (Modelo 2250 Light).
- Micrófono prepolarizado ½" tipo 4950 Bruel & Kjaer.
- Preamplificador de micrófono ZC-0032 Bruel & Kjaer.
- Bola antiviento.
- Anemómetro Testo 410-2.
- Trípode.
- Calibrador de tipo 1 Bruel & Kjaer de 94 dB a 1kHz (Modelo 4231).
- Programa BZ5503- Measurement Partner Suite B&K

#### 3.1. EL SONÓMETRO

El sonómetro es un instrumento de medida que sirve para medir niveles de presión sonora. En concreto, el sonómetro nos permite determinar el nivel de ruido que existe en un determinado momento en un determinado lugar. En este trabajo, lo hemos utilizado para medir el ruido ocasionado por el polígono de Rótova y el tráfico rodado que este provoca. Cada sonómetro debe seguir las normas CEI 60651 y la CEI 60804 según la CEI (Comisión Electrotécnica Internacional), con el objetivo que todos los sonómetros obtengan el mismo valor del nivel de ruido si se utilizaran en un mismo lugar en un mismo instante.

Existen tres tipos de sonómetro los cuales son: sonómetro tipo 0 (utilizado en laboratorios), sonómetro tipo 1 (utilizado para trabajo de campo con precisión) y sonómetro tipo 2 (utilizado para trabajos de campo generales). Para este trabajo utilizaremos un sonómetro tipo 1.

Las partes de las que consta un sonómetro son:

- 1) Micrófono con respuesta en frecuencia similar a la de las audiofrecuencias.
- 2) Pantalla digital. Muestra el nivel de intensidad del sonido (en dB) y permite configurar el sonómetro de forma táctil.
- 3) Circuito que procesa electrónicamente la señal



*Figura 3. Sonómetro 2250 de Bruel&Kjaer.*

### 3.1.1. Configuración del sonómetro

La configuración utilizada para medir con el sonómetro es la siguiente:

- Se selecciona la opción *modo sonómetro*, ya que es el más apropiado para medidas de acústica urbanística y medioambiental de contaminación acústica.
- Se selecciona modo de respuesta *Fast*, tal como exige la normativa.
- Como utilizamos pantalla de viento, se activa la corrección por pantalla de viento.
- Se configura un tiempo de medida de 10 minutos.
- Elegimos que obtenga los percentiles LN1, LN5, LN10, LN50, LN90, LN95 Y LN99 para poder realizar el cálculo de las incertidumbres posteriormente.

### 3.2. MICRÓFONO, CALIBRADOR Y PREAMPLIFICADOR

Se utilizará un calibrador tipo 1 de Bruel & Kjaer modelo 4231 de 94 dB a 1 Hz y el micrófono empleado será un micrófono de condensador prepolarizado de ½" tipo 4950 de la marca B&K junto con un preamplificador de atenuación nominal de 0,3 dB.



Figura 4. Micrófono prepolarizado Bruel&Kjaer.



Figura 5. Calibrador tipo 1 Bruel&Kjaer.



Figura 6. Preamplificador ZC-0032 Bruel&Kjaer.

### 3.3. OTRA INSTRUMENTACIÓN

---

También se ha utilizado una pantalla antiviento y un trípode.



*Figura 7. Bola antiviento.*



*Figura 8. Trípode.*

## 4. TOMA DE MEDIDAS

### 4.1. ZONA DE ESTUDIO

Nuestra zona de estudio es el polígono industrial llamado Polígono Industrial Les Masses. Este polígono se encuentra en Rótova, municipio de la Comunidad Valenciana situado en el interior de la comarca de La Safor en la provincia de Valencia. Su relieve presenta dos partes bien diferenciadas: la parte sureste está ocupada por una llanura aluvial constituida por los arrastres del río Vernisa y su afluente por la derecha el barranco de la Paga, que se une al de Alfahuir poco antes de alcanzar el Vernisa. Esta es la zona ocupada por los cultivos de regadío, especialmente naranjos. Desde el mismo curso del río Vernisa hacia el noroeste el terreno se hace más elevado y montañoso.

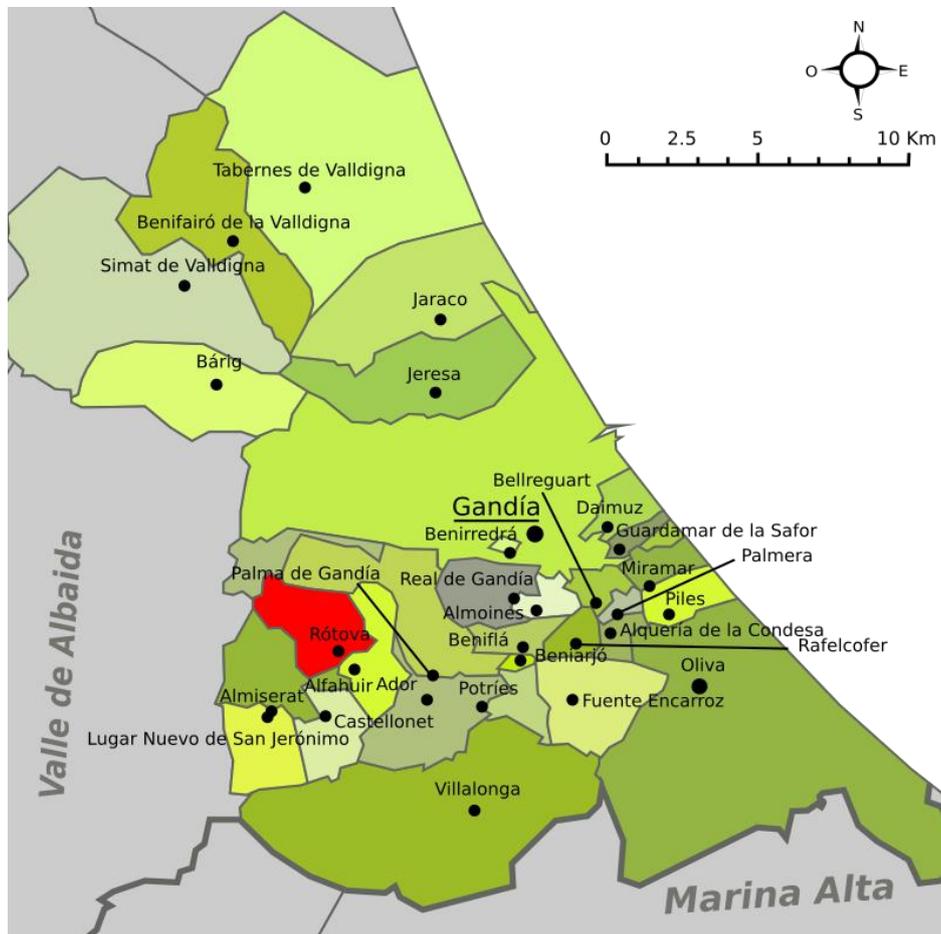


Figura 9. Localización de Rótova en La Safor.

Cuenta con 1262 habitantes (censo 2018) y su polígono industrial está separado de la zona residencial por solo una calle.

Desde Valencia se accede a esta localidad, por carretera, a través de la N-332 para enlazar con la CV-686 y finalizar en la CV-60.

En la siguiente imagen podemos ver un mapa de las distintas empresas y naves ubicadas en el polígono.

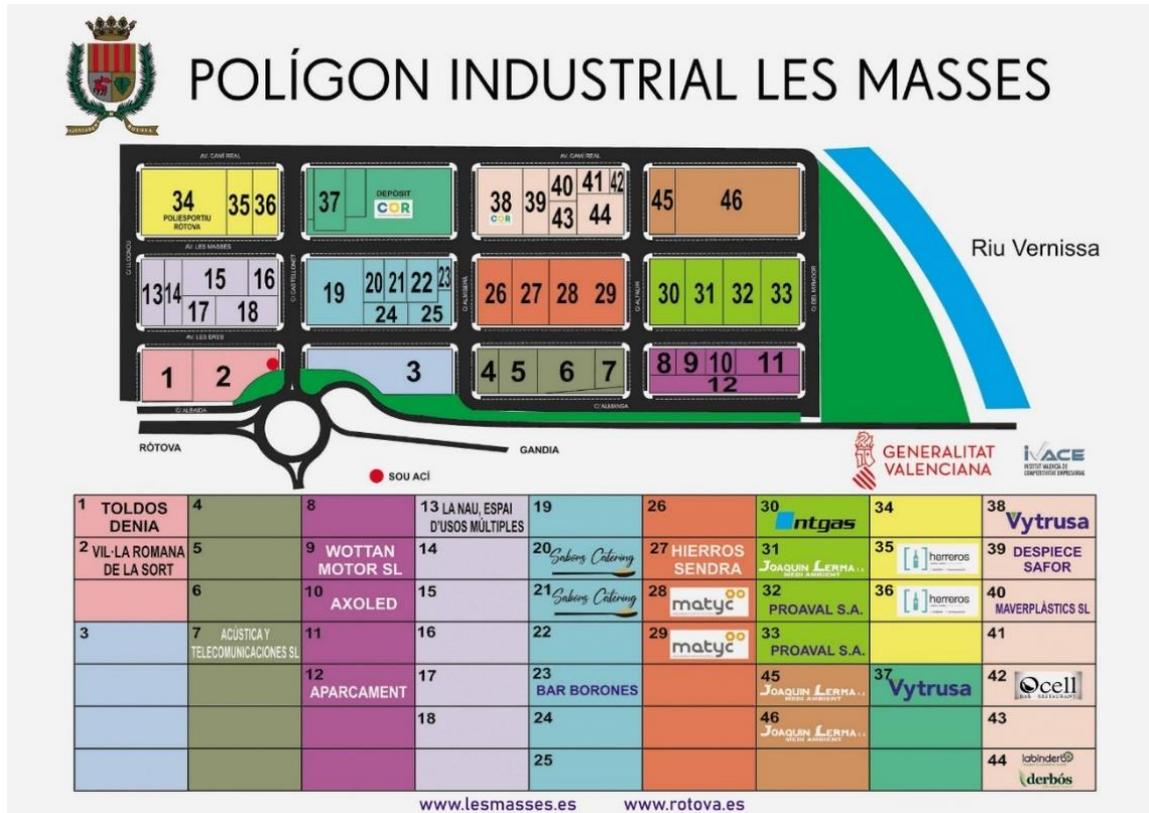


Figura 10. Plano del polígono industrial con la localización de las empresas.

Como se puede observar en el mapa, el polígono cuenta con 46 naves y se puede encontrar en la entrada al pueblo de Rótova, accediendo por la CV-60.

#### 4.2. PUNTOS DE MEDIDA

Para realizar las medidas con las que obtendremos el mapa acústico se han tenido en cuenta los puntos receptores más sensibles de la población (zona residencial, docente y sanitaria) y puntos próximos, así como los puntos con más actividad cerca del polígono industrial.



Figura 11. Mapa donde se muestra la distribución de los puntos de medida.

A continuación, se detalla brevemente la ubicación de cada punto de medida:



### PUNTO 1

Situado en el cruce entre la Calle Álvaro Navarro y la Calle Proyecto 3 que da a la Calle Ausiás March, en la parte trasera está el colegio Col·legi Rural Agrupat Rótova-Alfauir.



**PUNTO 2**

Situado donde termina la Calle Juan XXIII en la Plaza Mayor.



**PUNTO 3**

Situado frente a la Iglesia San Bartolomé de Rótova.



**PUNTO 4**

Situado junto a la parada de bus de la Avenida Jaume I y la entrada a la Calle Alfauir. En frente existe un parking.



**PUNTO 5**

Situado en la Calle Venerable frente a la entrada a la Calle Cervantes.



**PUNTO 6**

Situado en Carrer del Convent justu en la intersección con Avenida Camí Reial.



**PUNTO 7**

Situado en Carrer Luis Vives junto a la intersección con Carrer del Convent.



**PUNTO 8**

Situado en la calle Les Masses, en la intersección con Carrer Lloc Nou.



**PUNTO 9**

Situado en Avenida Camí Reial, en la intersección con Carrer Castellonet.



**PUNTO 10**

Situado en Carrer Castellonet en la rotonda de entrada a Rótova, recoge el tráfico que entra al pueblo.



**PUNTO 11**

Situado al final de la Avenida les Eras en la esquina del polígono mirando a CV-60.



**PUNTO 12**

Situado en Carrer del Mirador en la otra esquina del final del polígono junto a Avenida Camí Reial.

**4.2.1. Caudal de vehículos**

Para cada una de las medidas en cada punto, se registraron los datos del caudal de vehículos ligeros y pesados que circularon por la vía durante los 10 minutos de duración de cada medida.

A partir de la información recogida, se calcula el promedio de los resultados en las 3 medidas de cada punto y lo multiplicamos por 6 para extrapolar el total de vehículos ligeros y pesados en 1 hora.

En la siguiente tabla se ven reflejados los resultados del tráfico en cada punto:

Puntos de medida	Vehículos ligeros (1h)	Vehículos pesados (1h)
1	4	2
2	30	18
3	2	4
4	98	30
5	24	16
6	36	12
7	16	8
8	34	16
9	26	6
10	56	28
11	2	1
12	1	6

*Tabla 4. Caudal de tráfico de vehículos ligeros y pesados.*

## 5. RESULTADOS

### 5.1. NIVEL SONORO EQUIVALENTE

Una vez realizadas todas las medidas, procedemos a extraerlas con el software BZ 5503 – Measurement Partner Suite B&K. Para ello, se conecta el sonómetro a nuestro ordenador y abrimos el programa. Seleccionaremos todas las medidas y las exportaremos a un fichero Excel.

En la siguiente tabla podemos ver los datos de los niveles sonoros equivalentes (LAeq) y el promedio de las 3 medidas en cada punto, el cual se ha calculado con la siguiente fórmula:

$$L_D = 10 \log \left[ \frac{10 \frac{LAeq_1}{10} + 10 \frac{LAeq_2}{10} + 10 \frac{LAeq_3}{10}}{3} \right]$$

El nivel sonoro equivalente es un indicador que permite describir la contaminación acústica en una localización.

Puntos de medida	LAeq (dBA) 1ª medida	LAeq (dBA) 2ª medida	LAeq (dBA) 3ª medida	LAeq (dBA) Promedio
1	44,89	48,02	44,41	46,1
2	62,03	53,64	60,07	59,8
3	41,63	55,13	55,75	53,8
4	59,71	58,78	58,71	59,1
5	57,08	54,94	54,8	55,7
6	55,08	55,41	54,6	55,0
7	50,9	47,32	53,89	51,5
8	57,18	60,82	49,76	57,8
9	55,73	62,19	52,06	58,6
10	58,37	69,61	56,93	65,4
11	57,02	58,1	58,73	58,0
12	62,36	67,29	62,93	64,8

*Tabla 5. Niveles sonoros equivalentes de cada punto.*

## 5.2. Cálculo de incertidumbres en la medida

---

La incertidumbre de una medida se define como el parámetro asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían ser razonablemente atribuidos al mesurando (mesurando: magnitud sujeta a medición), es decir, la incertidumbre es el intervalo o rango de valores en donde existe una duda razonable que se encuentre el valor real de la medida realizada.

La incertidumbre es una medida cuantitativa de la calidad del resultado de medición, que permite que los resultados de medida sean comparados con otros resultados, referencias, especificaciones o normas. [6]

Todas las mediciones tienen asociada una incertidumbre que puede deberse a distintos factores, los cuales contribuyen por separado en mayor o menor grado a la incertidumbre total de la medida. Dichos factores son los siguientes:

- El instrumento de medición utilizado.
- La fuente de ruido.
- Las condiciones meteorológicas y del suelo.
- El intervalo de tiempo que dura la medida.
- La distancia entre la fuente y el sonómetro.
- El método utilizado para obtener la medida.
- El sonido residual.

La evaluación de la incertidumbre en la medición se recoge en la norma ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos generales para la competencia de ensayo y calibración, apartado 7.6.

Al trabajar con LAeq, la incertidumbre se calcula como:

- Incertidumbre típica combinada:

$$\sigma_t(dB) = \sqrt{(W)^2 + (X)^2 + (Y)^2 + (C \cdot Z)^2}$$

- Incertidumbre de medición expandida:

$$\pm 2 \cdot \sigma_t$$

Siendo:

- W, la incertidumbre típica debida a la instrumentación.
- X, la incertidumbre típica debida a las condiciones de funcionamiento
- Y, la incertidumbre típica debida a las condiciones meteorológicas y del terreno.
- C-Z, la incertidumbre típica debida al sonido residual.

### 5.2.1. Incertidumbre debida a la instrumentación

Como el sonómetro es de tipo 1, el valor de la incertidumbre debida a la instrumentación se puede tomar como 0,7 dB.

Puntos de medida	W (dB)
1	0.7
2	0.7
3	0.7
4	0.7
5	0.7
6	0.7
7	0.7
8	0.7
9	0.7
10	0.7
11	0.7
12	0.7

*Tabla 6. Valores de la incertidumbre debida a la instrumentación.*

### 5.2.2. Incertidumbre debida a las condiciones de operación

El procedimiento seguido para medir en cada uno de los puntos y sus 3 medidas ha sido siempre el mismo, utilizando siempre los mismos equipos y colocando el sonómetro en la misma posición y altura.

La fórmula a utilizar para calcular la incertidumbre debida a las condiciones de operación (X) es la siguiente:

$$X = \frac{10}{\sqrt{n}} \text{ dB}$$

Siendo n el número de vehículos totales por hora en un punto, tanto ligeros como pesados.

Puntos	Promedio Total Tráfico/h (n)	X (dBA)
1	6	4,08
2	48	1,44
3	6	4,08
4	128	0,88
5	40	1,58
6	48	1,44
7	24	2,04
8	50	1,41
9	32	1,77
10	84	1,09
11	3	5,77
12	7	3,78

Tabla 7. Valores de la incertidumbre debida a las condiciones de operación.

### 5.2.3. Incertidumbre debida al clima y al suelo

La incertidumbre según el clima y el suelo depende del tipo de terreno en que se realicen las medidas, de las condiciones meteorológicas que existan en el momento de la medición y de la distancia existente entre la fuente a medir y el receptor; que en este caso será donde se posicione el sonómetro.

En la siguiente ilustración se muestran los valores de los coeficientes de incertidumbre según el clima y el suelo según la norma UNE ISO 1996-2.

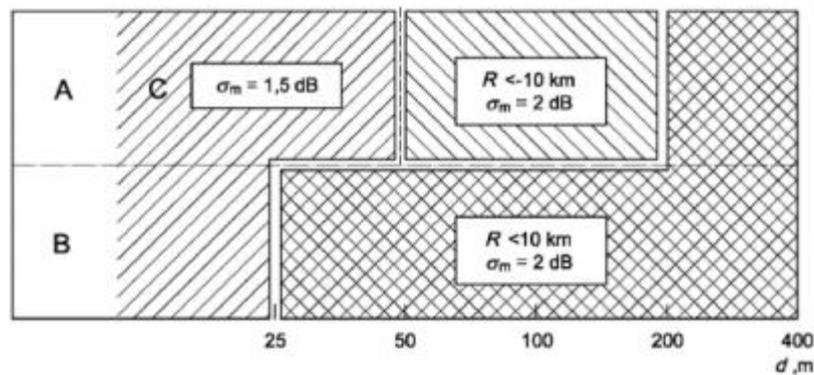


Figura 12. Incertidumbre debida al clima y al suelo.

Se presentan tres situaciones en la práctica:

**Situación alta A:**

- La altura del receptor y la de la fuente es igual o mayor que 1,5 m:

$$h_s \geq 1,5 \text{ m y } h_r \geq 1,5 \text{ m}$$

- La altura de la fuente es menor de 1,5 m y la altura del receptor de 4 o más metros:

$$h_s < 1,5 \text{ m y } h_r \geq 4 \text{ m}$$

**Situación baja B:**

- La fuente se encuentra a menos de 1,5 m de altura y el receptor a una distancia menor o igual de 1,5 m:

$$h_s < 1,5 \text{ m y } h_r \leq 1,5 \text{ m}$$

**Situación baja C sin restricciones:**

En este estudio de situación baja, el tipo de terreno sobre el que se realizaron las medidas es duro, bastante regular y la distancia efectiva entre fuente y receptor es menor a 25 m, por lo que se estima un valor de incertidumbre de 0.5 dB en todos los puntos.

$$C_a = 0.5 \text{ dBA}$$

Puntos	Y (dBA)
1	0.5
2	0.5
3	0.5
4	0.5
5	0.5
6	0.5
7	0.5
8	0.5
9	0.5
10	0.5
11	0.5
12	0.5

*Tabla 8. Valores de la incertidumbre debida al clima y al suelo.*

#### 5.2.4. Incertidumbre debida al sonido residual

El valor de la incertidumbre de nivel sonoro residual se define como la combinación del nivel total y el sonido residual:

$$S_r = Z \cdot C$$

Z: sonido residual.

C: sensibilidad residual.

La incertidumbre varía con respecto a la diferencia entre los valores totales medidos (LAeq) y el sonido de fondo. Como no hemos medido el sonido de fondo, estimaremos su valor con el percentil LA99.

A tener en cuenta:

- Si el nivel de presión sonora residual obtenido es mayor de 10 dB o menor de 3 dB, no se aplicarán correcciones.
- Si el valor está entre 3 dB y 10 dB, se aplicará la siguiente corrección:

$$L_{corr} = 10 \log \left( 10^{\frac{L_{medido}}{10}} - 10^{\frac{L_{residual}}{10}} \right)$$

$L_{corr}$ : nivel de presión sonora medida corregida.

$L_{medido}$ : nivel de presión sonora medida.

$L_{residual}$ : nivel de presión sonora residual.

Tras aplicar la corrección, se calcula la incertidumbre de nivel sonoro residual Z (en los casos en los que no se haya aplicado corrección en ninguna medida el resultado será 0):

$$Z_r (dB) = \sqrt{\sigma_S^2 - \sigma_0^2}$$

$Z_r$ : incertidumbre asociada al nivel sonoro residual.

$\sigma_S$ : desviación específica de niveles de presión corregidos.

$\sigma_0$ : desviación actual de niveles de presión medidos.

La sensibilidad residual (C) se calcula con la siguiente fórmula:

$$C_{residual} = \frac{10^{\frac{L_{residual}}{10}}}{10^{\frac{L_{total}}{10}} - 10^{\frac{L_{residual}}{10}}}$$

Una vez hemos calculado la sensibilidad residual de cada medida, hacemos el promedio para cada punto. Finalmente, conocidos el sonido residual (Z) y la sensibilidad residual C de cada punto, podemos obtener la incertidumbre provocada por el ruido de fondo o residual.

En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos:

Puntos	Z Final (dBA)	C Final (dBA)	Z · C (dBA)
1	1,10	0,13	0,14
2	0	0,03	0
3	3,21	0,12	0,40
4	0	0,03	0
5	0	0,01	0
6	0	0,03	0
7	1,56	0,11	0,18
8	1,89	0,08	0,15
9	0	0,40	0
10	0	0,05	0
11	0,72	0,09	0,06
12	0	0,03	0

*Tabla 9. Valores de la incertidumbre debida al sonido residual.*

### 5.2.5. Incertidumbre típica combinada

Por último, una vez calculadas todas las incertidumbres que afectan a la medida, calculamos la incertidumbre típica combina con la siguiente fórmula:

$$\sigma_t = \sqrt{W^2 + X^2 + Y^2 + (C \cdot Z)^2}$$

Para proporcionar cobertura en el 95% de los casos, calculamos también la incertidumbre típica expandida con un factor 2.

Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

Puntos de medida	$\sigma_t$	$\pm 2 \cdot \sigma_t$
1	4,2	8,3
2	1,7	3,4
3	4,2	8,4
4	1,2	2,5
5	1,8	3,6
6	1,7	3,3
7	2,2	4,4
8	1,7	3,3
9	1,9	3,9
10	1,4	2,8
11	5,8	11,7
12	3,9	7,8

Tabla 10. Valores de la incertidumbre típica combinada.

Algunos valores son un poco altos debido a que en esos puntos el tráfico de vehículos es escaso y, por consiguiente, la incertidumbre debida a las condiciones de operación es más elevada que en los puntos con más tráfico. Esto provoca que la incertidumbre combinada en dichos puntos sea mayor.

### 5.3. CUMPLIMIENTO DE LA NORMATIVA

Puntos	LAeq (dBA) medido con su incertidumbre	Cumplimiento	
		Normativa Autonómica	Normativa Estatad
1	46.1±8.3	NO	SÍ
2	59.8±3.4	NO	SI
3	53,8±8.4	NO	SI
4	59,1±2.5	NO	SI
5	55,7±3.6	NO	SI
6	55,0±3.3	NO	SI
7	51,5±4.4	NO	SI
8	57,8±3.3	SI	SI
9	58,6±3.9	SI	SI
10	65,4±2.8	SI	SI
11	58,0±11.7	SI	SI
12	64,8±7.8	SI	SI

Tabla 11. Cumplimiento de la normativa.

A partir de los valores de la tabla 11, se puede observar que, para la normativa autonómica, los puntos situados en la zona urbana superan el mínimo permitido por lo que no la cumplen. En cambio, los puntos situados en el polígono industrial y a las afueras, sí cumplen con la normativa.

Para la normativa estatal, el nivel sonoro de todos los puntos está dentro de los objetivos de calidad permitidos por lo que sí cumplen con esta normativa.

Cabe recalcar que debido a la pandemia del covid-19, los resultados pueden no ser del todo relevantes puesto que la actividad tanto de tráfico como en polígono se vio afectada y posiblemente reducida.

## 6. SIMULACIÓN

### 6.1. PREDICTOR, SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Para realizar la simulación, se ha utilizado el software Predictor Type 7810 V2019 que permite hacer predicciones y mapas de ruido. Esto nos permitirá hacer un estudio comparativo de los diferentes niveles de presión sonora en la zona obtenidos en las medidas con los obtenidos en la simulación.

El método de simulación que vamos a utilizar es el método francés de ruido de tráfico, llamado XPS/NMPB.

El primer paso en Predictor es insertar un plano de la zona de estudio e introducir las distancias previamente medidas. Posteriormente, se insertan los edificios, suelos de vegetación o suelos planos, carreteras y los receptores en los puntos de medida.

Las herramientas que se van a utilizar dependiendo del elemento que queramos añadir son las siguientes:

- Edificios: "Building". Dibujamos el contorno con líneas rectas y determinamos la altura.
- Carreteras: "Road". Trazamos la carretera y añadimos el caudal de vehículos ligeros y pesados y la velocidad.
- Suelos: "Ground Region". Seleccionamos las zonas de suelo y tomamos los suelos duros como reflectantes y  $G=0$ , y los suelos de vegetación como absorbentes y  $G=1$ .
- Receptores: "Receivers." Los colocaremos en los lugares donde se ha medido y definiremos la altura a la que estaba el sonómetro durante las medidas, en este caso a 1,50 m.

Una vez colocados todos los elementos, se puede visualizar el modelo en 3D:



*Figura 13. Vista 3D del modelo de predicción de Rótova en Predictor.*

### 6.2. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Una vez realizada la simulación, el programa nos muestra una predicción de los niveles sonoros en toda la zona bajo estudio y calcula los niveles en cada punto receptor, es decir, donde se han realizado las medidas con el sonómetro .

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

Puntos de medida	LAeq día (dBA)	LAeq noche (dBA)
1	54	39,5
2	64,7	56
3	61,2	51,8
4	64,6	56,6
5	65,1	57
6	60,6	52,5
7	63,1	56,5
8	56,3	49,4
9	58,3	50,9
10	63,4	56,2
11	61,5	54,8
12	55,9	47,6

*Tabla 12. Resultados de la simulación en los puntos receptores de los niveles diarios y nocturnos*

### 6.3. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS

En la siguiente tabla se muestra una comparación de los niveles sonoros medidos y generados por el software:

Puntos	LAeq día (dBA) medidos	LAeq día (dBA) simulación	Diferencia absoluta (dBA)
1	46,09	54	7,91
2	59,77	64,7	4,93
3	53,78	61,2	7,42
4	59,09	64,6	5,51
5	55,74	65,1	9,36
6	55,04	60,6	5,56
7	51,48	63,1	11,62
8	57,84	56,3	1,54
9	58,63	58,3	0,33
10	65,37	63,4	1,97
11	58,01	61,5	3,49
12	64,79	55,9	8,89

*Tabla 13. Comparativa de resultados*

Se puede observar que hay pequeñas diferencias entre los valores medidos y los simulados, siendo más semejantes los situados en el polígono excepto por el punto 12. Esto puede deberse a que este punto estaba situado junto al lado de una nave de residuos y reciclaje que producía muchísimo ruido el cual fue captado por el sonómetro, pero no se ve reflejado en el valor generado por el programa.

Aun así, los valores no varían demasiado en general por lo que el modelo y los mapas acústicos generados podrían darse como válidos.

En las siguientes páginas se adjuntan los mapas acústicos obtenidos tanto para día como para noche, en los cuales se muestran los niveles sonoros dentro de la zona de estudio, tal y como está indicado en la leyenda.

Niveles Diarios Rótova

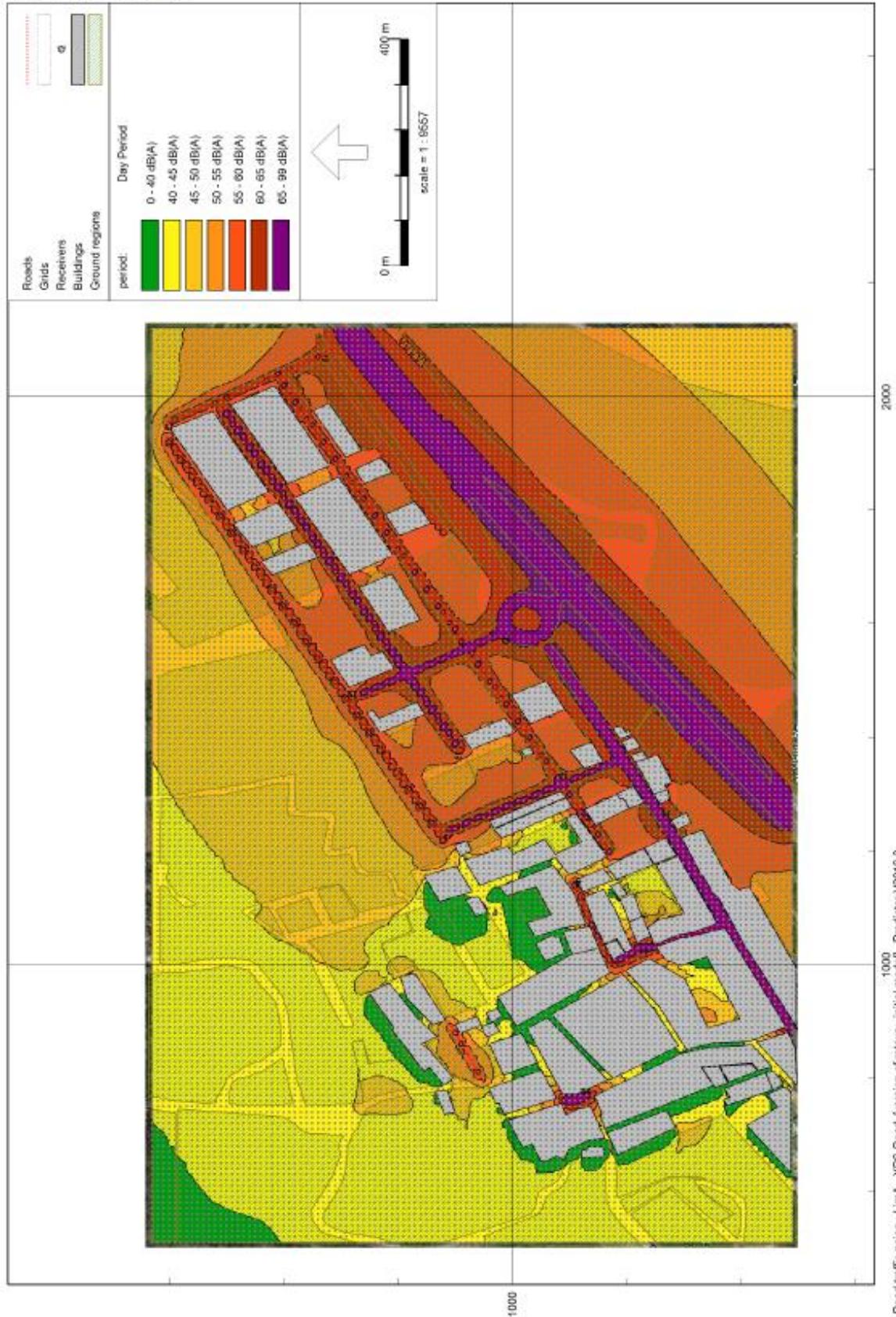


Figura 14. Niveles acústicos de día.

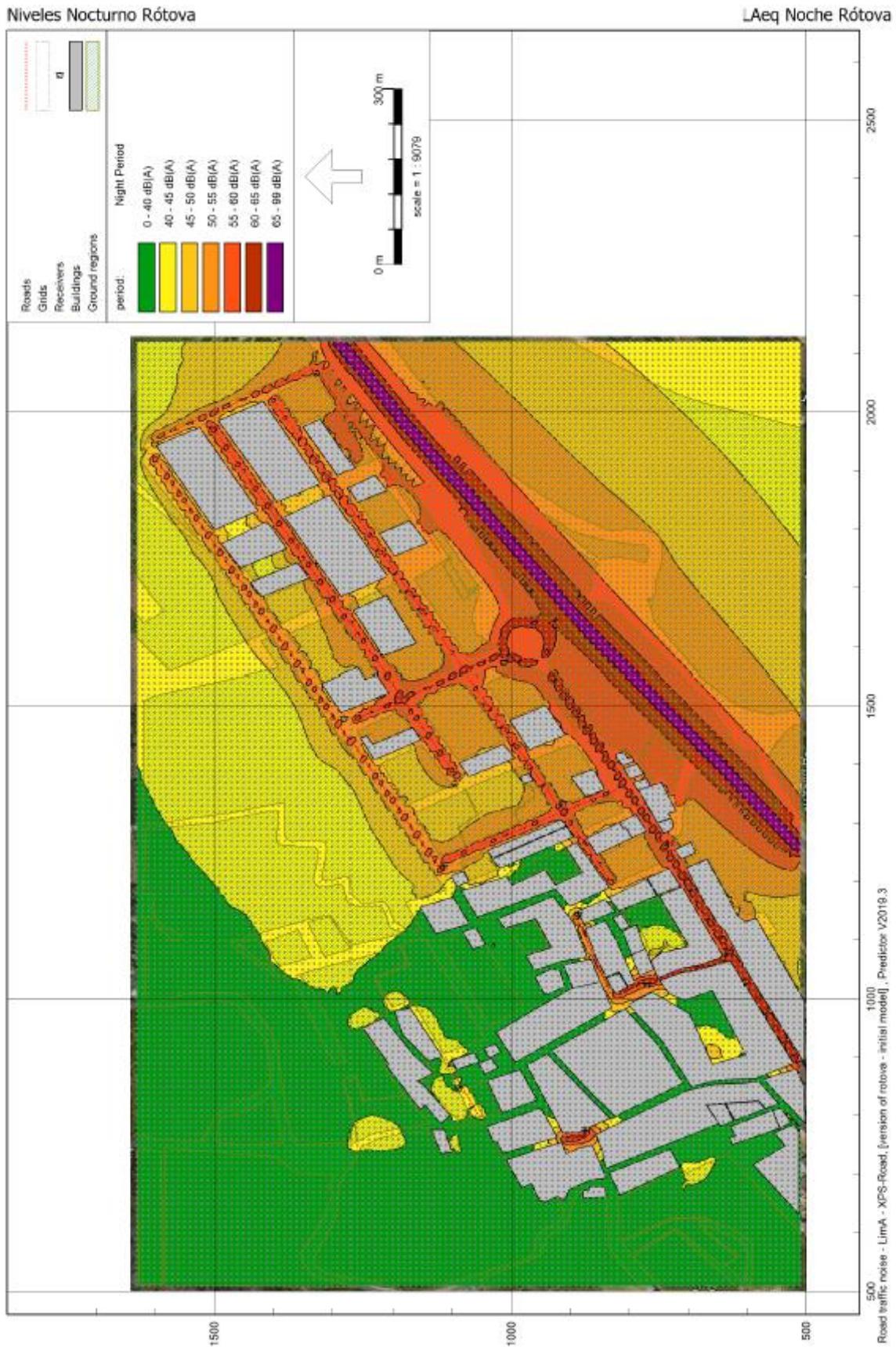


Figura 15. Niveles acústicos de noche.

## 7. CONCLUSIONES Y PROPUESTAS DE MEJORA

Tras finalizar el estudio hemos podido comprobar que los niveles de ruido emitidos sí cumplen los objetivos de calidad acústica marcados por la legislación nacional que consta en la Ley 37/2003. En cambio, la legislación autonómica descrita en la Ley 7/002 solo se cumple en parte de los puntos, concretamente los situados en el polígono industrial que, aun siendo más elevados, la normativa para las zonas industriales también es más permisiva ya que fija unos niveles de 70 dBA en su perímetro.

Cabe señalar que el municipio de Rótova no está situado en un área completamente plana como se ha supuesto en la simulación, si no que tiene elevaciones las cuales no se han podido plasmar por falta de un mapa en formato AUTOCAD que tenía que ser suministrado por el arquitecto municipal y por las dificultades debidas a la pandemia del COVID-19 no se ha dispuesto de él.

Además, añadir que algunas medidas fueron tomadas en marzo antes de decretar el estado de alarma y posterior confinamiento debido a la pandemia del COVID-19, y otras fueron tomadas nada más terminar este confinamiento y durante el verano. Así mismo, la zona de estudio era el polígono industrial, el cual tiene mucha más actividad por la mañana que por la tarde (recordar que el horario de día según la normativa autonómica y el que se ha tomado en este estudio es el que va de las 8:00 horas a las 22:00 horas).

Con esto, concluir que los resultados de este mismo estudio realizado en un estado de normalidad serían un poco distintos (ligeramente más altos). Esto podría dar como resultado un incumplimiento de las normativas, ya que en algunos puntos los niveles de ruido están al límite de superar los niveles permitidos en la legislación estatal que en este estudio sí que se han cumplido.

Dado que los resultados han sido favorables en cuanto a las normativas, no propondría en principio ninguna medida correctora en cuanto al ruido. Aun así, el polígono industrial está situado muy cerca de la zona residencial y se ha visto que los valores medidos en esta zona no cumplen la normativa autonómica. Por tanto, propondría que las naves del polígono industrial más próximas tengan una actividad compatible (o que se tomen medidas correctoras con el fin de conseguir menores niveles de emisión) con la zona residencial más próxima.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

### WEBS Y ENLACES DE INTERÉS:

- [1] <https://www.sostenibilidadedp.es/pages/index/que-es-el-ruido>
- [2] [http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/publicaciones\\_4350qp04\\_0.pdf](http://www.sea-acustica.es/fileadmin/publicaciones/publicaciones_4350qp04_0.pdf)
- [3] <https://www.imaginaedoc.com/2018/01/09/como-afecta-la-contaminacion-acustica-a-nuestra-salud/>
- [4] <https://archivo.ecodes.org/web/noticias/efectos-de-la-contaminacion-acustica-sobre-la-salud>
- [5] <https://rotova.es/2020/01/09/poligon-industrial-les-masses/>
- [6] <https://candeltecblog.wordpress.com/2019/09/30/la-importancia-de-conocer-la-incertidumbre-de-una-medida/>
- [7] <https://rotova.es/>

### NORMATIVA Y LEGISLACIONES:

*Ley 37/2003 (Ley estatal del ruido).*

- *Real Decreto 15/3/2005 del 16 de diciembre de 2005.*
- *Real Decreto 1367/2007 del 16 de diciembre de 2005*

*Directiva 2002/49/CE.*

*Ley 7/2002 del 3 de diciembre (Ley autonómica del ruido).*

- *Decreto 266/2004 del 3 de diciembre.*
- *Decreto 104/2006 del 14 de julio.*

*Norma UNE ISO 1996-1: 2005 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental.*

### DOCUMENTACIÓN Y LIBROS:

*Acústica Ambiental: Análisis, legislación y soluciones. Sociedad Española de Acústica SEA, 2009.*

*Harris C. Manual de medidas acústicas y control del ruido. Ed. Mc Graw Hill. 1995.*

*Technical Documentation: Spanish version of User Manual for Predictor Type 7810, Version 6.1 (BE1785)*

*Apuntes de la asignatura Ingeniería Acústica Ambiental.*

## ANEXO

Punto 1	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio día
Fecha	9/6/20	24/7/20	27/7/20	-
Hora	17:42h	19:41	11:26	-
Temperatura (°C)	22	28	30	27
Presión atmosférica (hPa)	1015	1013	1015	1014
Humedad relativa (%)	52	74	68	65
Velocidad del viento (m/s)	3.4	2.9	3.2	3.2
Vehículos ligeros (v/h)	0	2	0	1
Vehículos pesados (v/h)	0	1	0	1

*Tabla 1. Datos del punto 1.*

Punto 2	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Promedio día
Fecha	10/3/20	29/5/20	27/7/20	-
Hora	19:20	18:15	12:09	-
Temperatura (°C)	18	23	30	24
Presión atmosférica (hPa)	1024	1016	1015	1018
Humedad relativa (%)	58	76	66	67
Velocidad del viento (m/s)	3.3	3.4	3.2	3.3
Vehículos ligeros (v/h)	7	6	2	5
Vehículos pesados (v/h)	6	0	3	3

*Tabla 2. Datos del punto 2.*

<b>Punto 3</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	10/3/20	29/5/20	27/7/20	-
Hora	19:36	18:29	12:22	-
Temperatura (°C)	18	23	30	24
Presión atmosférica (hPa)	1024	1016	1015	1018
Humedad relativa (%)	58	78	70	69
Velocidad del viento (m/s)	3.6	3.2	3.1	3.3
Vehículos ligeros (v/h)	0	1	0	1
Vehículos pesados (v/h)	0	0	2	1

**Tabla 3.** Datos del punto 3.

<b>Punto 4</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	9/6/20	28/7/20	29/7/20	-
Hora	18:18	11:57	12:49	-
Temperatura (°C)	21	29	28	26
Presión atmosférica (hPa)	1015	1015	1014	1015
Humedad relativa (%)	53	74	69	66
Velocidad del viento (m/s)	3.1	2.9	2.8	2.9
Vehículos ligeros (v/h)	26	11	12	16
Vehículos pesados (v/h)	6	4	5	5

**Tabla 4.** Datos del punto 4.

<b>Punto 5</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	27/7/20	29/7/20	4/8/20	-
Hora	11:47	12:31	17:28	-
Temperatura (°C)	30	28	30	29
Presión atmosférica (hPa)	1014	1014	1011	1013
Humedad relativa (%)	72	69	64	68
Velocidad del viento (m/s)	2.9	2.8	3.2	3.0
Vehículos ligeros (v/h)	3	3	6	4
Vehículos pesados (v/h)	4	2	2	3

**Tabla 5.** Datos del punto 5.

<b>Punto 6</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	9/6/20	24/7/20	28/7/20	-
Hora	17:16h	19:25	12:14	-
Temperatura (°C)	22	28	29	26
Presión atmosférica (hPa)	1015	1012	1015	1014
Humedad relativa (%)	52	72	74	66
Velocidad del viento (m/s)	2.3	2.7	2.9	2.6
Vehículos ligeros (v/h)	4	9	5	6
Vehículos pesados (v/h)	3	2	1	2

**Tabla 6.** Datos del punto 6.

<b>Punto 7</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	12/3/20	28/5/20	3/6/20	-
Hora	18:28	12:52	17:27	-
Temperatura (°C)	17	22	27	22
Presión atmosférica (hPa)	1020	1022	1004	1015
Humedad relativa (%)	72	80	66	73
Velocidad del viento (m/s)	3.3	2.9	3.2	3.1
Vehículos ligeros (v/h)	6	1	1	3
Vehículos pesados (v/h)	1	0	3	1

**Tabla 7.** Datos del punto 7.

<b>Punto 8</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	12/3/20	28/5/20	3/6/20	-
Hora	18:16	12:38	17:13	-
Temperatura (°C)	17	23	28	23
Presión atmosférica (hPa)	1020	1021	1004	1015
Humedad relativa (%)	72	80	67	73
Velocidad del viento (m/s)	2.3	2.8	3.9	3
Vehículos ligeros (v/h)	8	9	0	6
Vehículos pesados (v/h)	4	3	1	3

**Tabla 8.** Datos del punto 8.

<b>Punto 9</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	12/3/20	28/5/20	3/6/20	-
Hora	18:03	12:19	17:42	-
Temperatura (°C)	17	23	27	22
Presión atmosférica (hPa)	1020	1021	1004	1015
Humedad relativa (%)	72	80	66	73
Velocidad del viento (m/s)	2.3	3.5	3.1	3.0
Vehículos ligeros (v/h)	2	6	5	4
Vehículos pesados (v/h)	1	1	1	1

**Tabla 9.** Datos del punto 9.

<b>Punto 10</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	12/3/20	28/5/20	17/6/20	-
Hora	18:43	12:02	16:29	-
Temperatura (°C)	17	23	21	20
Presión atmosférica (hPa)	1020	1022	1015	1019
Humedad relativa (%)	72	81	84	79
Velocidad del viento (m/s)	2.7	3.8	2.6	3.0
Vehículos ligeros (v/h)	16	7	5	9
Vehículos pesados (v/h)	6	6	2	5

**Tabla 10.** Datos del punto 10.

<b>Punto 11</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	24/7/20	28/7/20	29/7/20	-
Hora	18:50	11:31	12:13	-
Temperatura (°C)	29	28	28	28,3
Presión atmosférica (hPa)	1012	1015	1014	1014
Humedad relativa (%)	74	72	78	75
Velocidad del viento (m/s)	2.5	2.8	3.1	2.8
Vehículos ligeros (v/h)	0	0	0	1
Vehículos pesados (v/h)	0	1	0	1

***Tabla 11.** Datos del punto 11.*

<b>Punto 12</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Promedio día</b>
Fecha	24/7/20	28/7/20	29/7/20	-
Hora	19:06	11:18	11:59	-
Temperatura (°C)	26	28	28	27
Presión atmosférica (hPa)	1012	1015	1014	1014
Humedad relativa (%)	72	72	78	74
Velocidad del viento (m/s)	2.7	2.9	3.1	2.9
Vehículos ligeros (v/h)	0	0	0	1
Vehículos pesados (v/h)	0	1	2	1

***Tabla 12.** Datos del punto 12.*

