



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS DE GANDIA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ing. Sist. de Telecom., Sonido e Imagen

**“Servicio de levantamiento de información
de la contaminación sonora en áreas
específicas a través de la elaboración de
mapas sonoros estratégicos y el análisis
subjetivo en el distrito de San Isidro de la
ciudad de Lima (Perú)”**

TRABAJO FINAL DE GRADO

Autor:

Diego i Tortosa, Dídac

Tutor:

Martínez Mora, Juan Antonio

Cotutor:

Llimpe Quintanilla, Celso Edgar

Lima, 2016

Servicio de levantamiento de información de la contaminación sonora en áreas específicas a través de la elaboración de mapas sonoros estratégicos y el análisis subjetivo en el distrito de San Isidro de la ciudad de Lima (Perú)

Autor: **Diego i Tortosa, Dídac**

Tutor: **Martínez Mora, Juan Antonio**

Cotutor: **Llimpe Quintanilla, Celso Edgar**

RESUMEN: El presente trabajo deriva de un estudio acústico realizado sobre el distrito de San Isidro, en la ciudad de Lima (Perú), con el objetivo de cuantificar el grado de contaminación acústica. Inicialmente se plantea el grave problema de la Contaminación Acústica en ambientes urbanos, sus efectos sobre la población, las fuentes que la generan y como se puede estudiar y controlar. Llevando a cabo un análisis subjetivo de percepción del ruido, basado en encuestas, se identifica el ruido como problema cotidiano en la población de San Isidro, con especial mención al generado por el tráfico rodado, y con la realización de mapas de ruido estratégicos con un software de pago (*Predictor-LimA*) y otro libre (*opeNoise*), se comparan ambos métodos con 54 medidas experimentales y se someten a validación obteniendo que el de pago es más eficaz al contar con modelos más complejos. Basándose en los resultados se enumeran las diferencias entre ciudades grandes europeas y Lima y se presenta un listado con mejoras para la reducción del ruido. Se demuestra la persistencia de los niveles sonoros a lo largo de todo el periodo diurno. Se mencionan especialmente directrices de la Organización Mundial de la Salud respecto el tema.

PALABRAS CLAVE: Contaminación acústica, Mapa de ruido, Percepción, Control, OMS

ABSTRACT: This paper derives from an acoustic study of the district of San Isidro in Lima (Perú) with the objective to quantify the degree of noise pollution. Initially it explains the deep problem of noise pollution in urban environments, its effects, the sources that generate it and how we can study and control it. Doing a subjective study on the degree of noise nuisance perceived, based on surveys, we identify the noise as a problem which affects the population in San Isidro, in particular road traffic noise. Realising maps of noise with a commercial software (*Predictor-LimA*) and other free (*opeNoise*), both are compared with experimental results and undergo validation methods. Based in results, the differences between European big cities and Lima are detected and a list with improvements to reduce noise is presented. The invariability in level of sound along the day period is demonstrated. Guidelines by World Health Organisation about the topic are present along the document.

KEY WORDS: Acoustic pollution, Map of noise, Perception, Control, WHO

NOTA: Toda figura, tabla o ilustración en que no se indique la fuente de procedencia, se debe entender como elaboración propia.

Autor: Diego i Tortosa, Dídac

Fecha de entrega: Julio 2016

e-mail: didieit@upv.es



Para ver una copia de esta licencia, visite:
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS.....	4
2.1. Objetivos específicos del estudio	4
3. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN ENTORNOS URBANOS	5
3.1. Concepto de ruido	5
3.2. Principales fuentes de ruido	5
3.3. Efectos del ruido sobre la población	6
3.4. Indicadores de los niveles sonoros.....	7
3.4.1. Nivel de presión sonora continua equivalente (L_{eq} o L_{Zeq}).....	7
3.4.2. Nivel sonoro ponderado en frecuencia A y C	7
3.4.2.1. Nivel de presión sonora con ponderación frecuencial A (L_{Aeq})	7
3.4.2.2. Nivel de presión sonora con ponderación frecuencial C (L_{Ceq})	8
3.4.3. Nivel de presión sonora máxima y mínima con ponderación A (L_{AFmax} y L_{AFmin}).....	8
3.4.4. Nivel percentil estadístico con ponderación A (L_N)	8
3.4.5. Nivel de presión sonora impulsiva con ponderación A (L_{Aleg})	8
3.4.6. Nivel de polución de ruido con ponderación A (L_{NP})	8
3.4.7. Nivel sonoro equivalente día, tarde y noche (L_{den}).....	8
3.5. Plan de estudio y control del ruido	9
3.5.1. Análisis subjetivo de la percepción del ruido	9
3.5.2. Mapas Estratégicos de Ruido (MER)	9
3.5.2.1. Metodología para la confección de mapas de ruido	10
3.5.2.1.1. Método experimental.....	10
3.5.2.1.2. Método predictivo	11
3.5.3. Medidas, leyes y normas de control del ruido	11
4. ZONA DE ESTUDIO	13
4.1. Contextualización	14
4.2. Justificación del proyecto	15
5. ANÁLISIS SUBJETIVO DE PERCEPCIÓN DEL RUIDO	16
5.1. Metodología	16
5.1.1. Distribución de la encuesta	16
5.1.2. Cálculo del número de muestras necesarias para un estudio fiable	16
5.2. Encuesta subjetiva	16
5.2.1. Número mínimo de muestras.....	16
5.2.2. Diseño de la encuesta	17
5.3. Resultados.....	17
6. MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO	20
6.1. Metodología	20

6.1.1.	Instrumentación y software de predicción del ruido	21
6.1.1.1.1.	Software libre opeNoise v0.3.1	21
6.1.1.1.2.	Software Brüel & Kjær Predictor-LimA v11.10.....	22
6.1.1.2.	Distribución espacial de los puntos de medición	22
6.1.1.3.	Distribución temporal de los puntos de medición y duración de las muestras	22
6.1.1.4.	Resultados de las medidas	23
6.2.	Registro de indicadores sonoros	23
6.2.1.	Ubicación de los puntos de medición	23
6.2.2.	Demostración de la persistencia en el tiempo de los niveles de presión sonora, durante el periodo día	25
6.3.	Resultados.....	26
6.3.1.	Resultados de las medidas <i>in situ</i>	26
6.3.1.1.	Niveles de presión sonora en los puntos de medida.....	26
6.3.1.2.	Caudal de tráfico rodado en las vías medidas.....	28
6.3.2.	Resultados predictivos	31
6.3.2.1.	Mapas de ruido obtenidos con opeNoise	31
6.3.2.2.	Mapas de ruido obtenidos con Predictor-LimA	33
6.3.3.	Comparación entre los resultados experimentales y predictivos	36
6.3.3.1.	Comparación opeNoise	37
6.3.3.2.	Comparación Predictor-LimA	39
6.3.4.	Correlación entre los resultados experimentales y predictivos	42
6.3.4.1.	Correlación opeNoise.....	42
6.3.4.2.	Correlación Predictor-LimA	44
6.3.5.	Análisis de los resultados	46
7.	RECOMENDACIONES GENERALES	47
8.	CONCLUSIONES	48
9.	REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....	49

ANEXOS

ANEXO I: ENCUESTA SUBJETIVA

ANEXO II: FICHA DE PUNTOS MEDIDOS

ANEXO III: DATOS METEOROLÓGICOS DURANTE LAS MEDICIONES

ANEXO IV: CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Final de Grado ha sido llevado a cabo a la vez que el alumno, y autor de este documento, ejercía como parte del equipo técnico en la realización de un proyecto acústico basado en la elaboración de mapas sonoros y el análisis subjetivo de la percepción del ruido por los habitantes afectados para la Municipalidad de San Isidro, en la ciudad de Lima (Perú).

Como el mismo título indica, este proyecto tiene dos líneas bien definidas de trabajo, por una parte, tenemos un análisis subjetivo de la percepción del ruido sobre la población afectada, un trabajo basado en encuestas subjetivas, y por la otra, la elaboración de los mapas de ruido.

Este trabajo es una respuesta a la necesidad de evaluar el ruido sufrido por los habitantes del distrito de San isidro para poder desarrollar planes de acción y medidas de lucha contra el ruido y sus efectos en la población.

Por ello, en el presente documento se hablará de la contaminación acústica, una completa explicación de qué es y en que consiste dicho asunto. Asimismo se expondrán sus efectos y sus distintas medidas a seguir para llevar a cabo un seguimiento y un control para proteger la población.

Se introducen los resultados del estudio con un apartado que nos explica la zona donde se han llevado a cabo y nos justifica el porqué de los procesos seguidos.

En la parte del análisis subjetivo de la percepción del ruido por los habitantes, se explica la metodología de las encuestas realizadas, el procedimiento seguido desde su realización hasta la obtención de sus resultados y se muestran conclusiones basadas en los resultados más relevantes.

Sobre los mapas de ruido, se expone la metodología seguida para su elaboración, se analizan los resultados obtenidos y se muestran los mapas de ruido confeccionados. Además, hemos hecho una comparación en la realización de los mapas usando dos *softwares* distintos (uno de licencia libre y otro con licencia comercial), validando los resultados de ambos *softwares* a través de las mediciones *in situ* (experimentales).

Para finalizar el trabajo expondremos algunas medidas de recomendación según los resultados del estudio y mostraremos las conclusiones más relevantes del escrito.

2. OBJETIVOS

El objetivo principal del presente Trabajo Final de Grado (TFG) es el estudio del grado de contaminación sonora en San Isidro, un distrito de Lima (Perú), así como el análisis y cuantificación ordinal del grado de molestia por ruido al que están expuestos sus habitantes.

El estudio de contaminación acústica se realizará mediante la elaboración de mapas acústicos con el número de mediciones que se consideren oportunas en los puntos de medida más relevantes.

Como objetivos secundarios, en beneficio del alumno, es aprender el manejo de los instrumentos de medida y de los distintos *softwares* que se manejan para la realización del presente trabajo y poder aplicar los conocimientos aprendidos durante el grado de Ingeniería de Sistemas de Telecomunicación, Sonido e Imagen en la realización de un proyecto como este, aplicado a la vida real, siendo capaz de recomendar soluciones basadas en los resultados obtenidos del estudio.

2.1. Objetivos específicos del estudio

- Revisar el estado de arte sobre los avances y desarrollo de mapas de ruido y análisis subjetivos en acústica ambiental.

- Levantar información de la contaminación sonora en la zona estratégica de estudio del distrito de San Isidro.
- Recolectar información a través de encuestas estructuradas para conseguir una muestra significativa del grado de molestia percibido por los ciudadanos de San Isidro.
- Elaborar Mapas Estratégicos del Ruido (MER) del distrito de San Isidro.

A partir de ahora se va a referir a los Mapas Estratégicos del Ruido como MER por razones técnicas.

3. CONTAMINACIÓN ACÚSTICA EN ENTORNOS URBANOS

Cuando hablamos de contaminación, nos referimos (en este contexto) a la alteración nociva¹ de un medio por agentes físicos. En acústica, los agentes físicos a los que nos referimos son las perturbaciones de presión sonora en un medio elástico. La propagación de la perturbación en el aire es lo que definimos como sonido. Así pues, podríamos decir que la contaminación acústica representa la alteración nociva de un medio por el sonido. El sonido, cuando produce un efecto nocivo se llama ruido.

Hemos observado como a lo largo de los años el ser humano se ha ido preocupando, cada vez más, por la contaminación que él mismo genera. Se habla de contaminación del aire, contaminación del agua, contaminación radiactiva, contaminación lumínica, etc. Sin embargo, la Contaminación Acústica no se ha tomado tan en serio como el resto de agentes contaminantes. “En comparación con otros contaminantes, el control del ruido ambiental se ha limitado por la falta de conocimiento de sus efectos sobre los seres humanos” [2], esto puede explicarse en parte a que los efectos del ruido no producen efectos a corto plazo.

El ruido se viene incrementando más en las zonas urbanas que en las rurales, por eso se identifica claramente la contaminación acústica en entornos puramente urbanos. Al final de este capítulo sabremos el porqué de esta generalización.

A continuación vamos a definir los aspectos más relevantes de la contaminación acústica en un entorno urbano, así que empezaremos por la definición del propio agente que la provoca, el ruido. Pasaremos entonces a identificar las principales fuentes que la generan y los efectos que provoca sobre la población. Seguiremos con un listado detallado de los indicadores que se usan para caracterizar el ruido y finalizaremos con la presentación de un plan de estudio acústico en un entorno urbano con la finalidad de llegar a controlar el ruido.

3.1. Concepto de ruido

El ruido es un tipo de sonido nocivo, es decir, un sonido no deseado.

Ésta es la definición de ruido más generalizada y acorde a los efectos que produce.

Por lo tanto, el ruido es un sonido que como mínimo genera molestia, pudiendo llegar a provocar daños irreversibles en la salud. Está considerado un riesgo laboral no mortal [3].

3.2. Principales fuentes de ruido

Se considera fuente de ruido, todo aquel foco que produzca un sonido molesto y/o dañino para la salud, pero generalmente se van a identificar 4 focos más importantes que el resto por los altos niveles de ruido y la molestia que producen sobre la población.

¹Entendemos por nocivo todo aquello que provoque “molestia, riesgo o daño para los habitantes de un mismo entorno, para el desarrollo de sus actividades o para los bienes de cualquier naturaleza” [1].

La primera fuente de ruido es el tráfico rodado. Seguidamente, podemos distinguir la del tráfico ferroviario y el tráfico aéreo, y por último, las instalaciones industriales. Cabe mencionar como otras fuentes de ruido las obras (que tienen una duración ilimitada) y las actividades recreativas.

El tráfico rodado supone el mayor problema en cuanto a contaminación acústica, ya que es el más extendido por todo el mundo y especialmente afecta a las zonas urbanas (las más pobladas). A pesar del avance tecnológico que permite unos motores más silenciosos², no se contribuye a solucionar el problema, ya que el ruido a más de 50 km/h no es producido únicamente por el motor y/o el dispositivo de escape, sino por la fuerza de rozamiento que existe entre las ruedas del vehículo y el pavimento de la vía. Asimismo el uso de vehículos se ha incrementado tanto que apenas notamos el avance tecnológico en cuanto a la disminución de los niveles sonoros emitidos y a esto se le debe añadir la lentitud con que se retiran los vehículos antiguos de las carreteras.

El tráfico rodado y ferroviario son fuentes lineales, con una superficie de impacto paralela al recorrido. El tráfico rodado, a cierta distancia del centro de la vía, se puede considerar un ruido constante, por lo cual se debe registrar al hacer mapas de ruidos en zonas urbanas (evitando el resto de fuentes de ruido para este caso, ya que al no ser ruido continuo no se considera representativo de la zona). Contrariamente, el tráfico ferroviario y el aéreo producen altos niveles de ruido en un periodo corto de tiempo. El de instalaciones industriales y otras fuentes suele ser ruido fluctuante.

3.3. Efectos del ruido sobre la población

Si la única consecuencia del ruido fuese “molestia” no sería considerado un agravante a reducir con urgencia, ya que un “sonido molesto” es una percepción subjetiva, sujeta a la calidad de audición, al estado de ánimo, al gusto personal, a la actividad que se realiza, etc. Pero lo malo del ruido es que se ha demostrado dañino para la salud, y esto prioriza que se quiera evitar, reducir y extinguir.

A ciertos niveles de exposición frente al ruido, la capacidad auditiva se deteriora irreversiblemente y esto es un efecto muy grave para la salud. Es por eso que, al igual que la vista, con el paso del tiempo perdemos calidad auditiva de forma irreversible.

Los niveles sonoros ambientales dañinos para el oído, según la Organización Mundial de la Salud, empiezan a partir de los 60 dBA (con exposición de 24 H). Estos provocan un deterioro de calidad auditiva. A partir de los 125 dBA el ruido comienza a ser doloroso, llegando al umbral del dolor de 140 dBA, a partir del cual puede reventarnos el tímpano provocando una sordera total.

Teniendo en cuenta que “alrededor del 16% de la pérdida auditiva del adulto en todo el mundo es atribuible a la exposición al ruido ocupacional” [3], debemos ser especialmente cautos a la hora de exponernos al ruido.

De la misma forma, el ruido provoca efectos no auditivos. La perturbación del sueño es quizás el más demostrado (la OMS habla de que a partir de los 30 dBA en ruido continuo puede provocar tal efecto) con síntomas como irritabilidad, cansancio, dolor de cabeza y problemas de estómago que pueden aparecer a partir de los 45 dBA. A más alto nivel pueden aparecer tensiones fisiológicas y reacciones cardiovasculares, así como posibles efectos en la salud mental e influencias en el rendimiento y la productividad. En conclusión, el ruido actúa también como fuente de tensión sobre la salud, alterando la presión arterial, el ritmo cardíaco, la vasoconstricción, los niveles de segregación endocrina, etc.

² “El ruido de los automóviles particulares ha sido reducido en un 85% desde 1970 y el ruido de los camiones en un 90%.” [4]

A parte de los efectos nocivos sobre la salud, el ruido es causa de otros efectos no deseados, como la inteligibilidad de una conversación entre personas (se hace imposible a partir de los 70 dBA) y la molestia en sí sobre el ser humano que lo sufre, provocándole a este un mal estar y una degradación de calidad de vida que provoca un desarrollo negativo de sus actividades.

3.4. Indicadores de los niveles sonoros

A continuación se van a definir los principales indicadores de niveles sonoros.

3.4.1. Nivel de presión sonora continua equivalente (L_{eq} o L_{Zeq})

También conocida como el nivel de presión sonora continua equivalente con ponderación Z (L_{Zeq}), es aquel nivel de presión sonora de un ruido continuo expresado en decibeles (dB), que en el mismo intervalo de medida, posee la misma energía total que el ruido medido, cuyo nivel varía con el tiempo. Tal como se muestra en la ecuación (1):

$$L_{eq,T} (dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(t)}{P_0^2} dt \right) \quad (1)$$

Siendo:

- T Tiempo de medida
- $p(t)$ Presión sonora instantánea (en Pa)
- P_0 Presión de referencia (20 μ Pa)

3.4.2. Nivel sonoro ponderado en frecuencia A y C

Existen tres clasificaciones distintas de redes en ponderación frecuencial, la A, la B y la C. En acústica ambiental se usan principalmente la A y la C, por ello a continuación pasaremos a explicarlas (Puntos 3.4.2.1 y 3.4.2.2). Cada red toma correcciones distintas para cada banda de frecuencia en octavas, con el fin de considerar de una u otra forma las frecuencias bajas y altas (ver Figura 3.1 y Tabla 3.1).

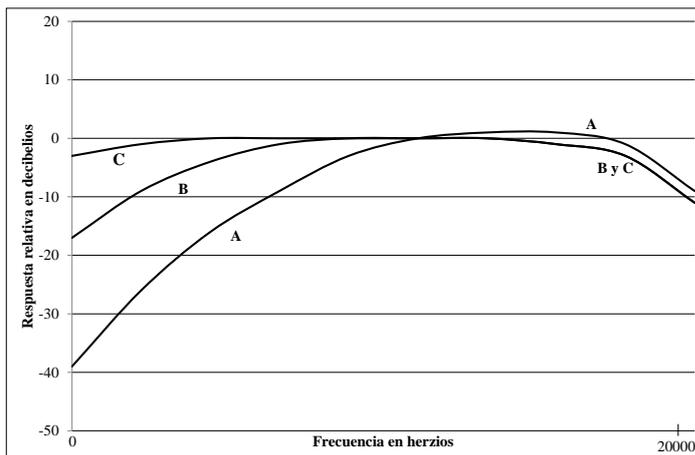


Figura 3.1: Red en ponderación A, B y C

Tabla 3.1: Red en ponderación A, B y C

Banda frecuencial Octavas (Hz)	Corrección en dB		
	Red A	Red B	Red C
31,5	-39	-17	-3
63	-26	-9	-1
125	-16	-4	0
250	-9	-1	0
500	-3	0	0
1000	0	0	0
2000	1	0	0
4000	1	-1	-1
8000	-1	-3	-3

La red de ponderación frecuencial A es la que más se utiliza, resulta ser complementaria al umbral de audición, ponderando así la intensidad de un sonido con la sensibilidad que el oído humano tiene a cada frecuencia.

3.4.2.1. Nivel de presión sonora con ponderación frecuencial A (L_{Aeq})

Este indicador, también es denominado nivel de presión sonora continua equivalente con ponderación frecuencial A. Es aquel nivel de presión sonora expresada en decibeles A (dBA), que en el mismo intervalo de tiempo posee la misma energía total que el ruido medido. La razón del uso de la curva de ponderación A es que existe una buena correlación entre el nivel sonoro y los efectos del ruido. Además, el filtro de ponderación A cubre el rango completo de frecuencia

de 20 Hz a 20 kHz, pero la forma se aproxima a la sensibilidad de frecuencia del oído humano. Así que el valor ponderado en A de una fuente de ruido es una aproximación a cómo percibimos el ruido. Este indicador es el nivel recomendado para evaluar el ruido ambiental y aparece en la mayoría de normas y legislación sobre contaminación acústica.

3.4.2.2. Nivel de presión sonora con ponderación frecuencial C (L_{Ceq})

Este indicador, también es denominado nivel de presión sonora continua equivalente con ponderación C. Este nivel de presión sonora es expresada en decibeles C (dBC). En el mismo intervalo de tiempo posee la misma energía total (o dosis) que el ruido medido. Este indicador es importante para evaluar el contenido energético en bajas frecuencias por comparación con el L_{Aeq} .

3.4.3. Nivel de presión sonora máxima y mínima con ponderación A (L_{AFmax} y L_{AFmin})

Son el máximo y mínimo nivel (respectivamente) de presión sonora registrado durante un período T de medición dado y está en ponderación A. Se expresa en decibeles A (dBA). Este nivel también es recomendado para evaluar el ruido ambiental.

3.4.4. Nivel percentil estadístico con ponderación A (L_N)

Estos niveles sonoros son conocidos como percentiles sonoros o nivel percentil, en general se les conoce con la nomenclatura L_N . Estos niveles indican los niveles de ruido alcanzados o sobrepasados en N% durante el tiempo que duró la medición. Nosotros lo utilizaremos para caracterizar las fluctuaciones temporales del ruido L_{10} , L_{50} y L_{90} .

3.4.5. Nivel de presión sonora impulsiva con ponderación A (L_{Ateq})

Es aquel nivel sonoro equivalente que presenta impulsos de energía acústica de duración inferior a 1 segundo a intervalos superiores a 1s.

Se entenderá que un ruido es de tipo impulsivo cuando en el puesto, o en el entorno del puesto de trabajo, se produzcan impactos o sonidos muy breves (con una duración menor a 1 segundo) y de gran intensidad, tales como: golpes, caídas de objetos, disparos, el sonido de las bocinas de los vehículos, etc.

Un ruido no perderá la característica de impulsivo si los impulsos o impactos se repiten, siempre y cuando la separación entre dos impactos consecutivos sea mayor a un segundo, teniendo siempre presente que los impactos deben ser generados por acciones propias de la tarea evaluada o del ambiente laboral, descartándose aquellos eventos accidentales no relacionados con la actividad. En conclusión, utilizamos este parámetro para evaluar el carácter impulsivo del ruido.

3.4.6. Nivel de polución de ruido con ponderación A (L_{NP})

Este indicador informa sobre la energía del ruido (L_{Aeq}) así como de su fluctuación. En su definición se incorpora el incremento de molestia causado por las fluctuaciones en el nivel sonoro equivalente, calculado a partir de la ecuación (2):

$$L_{NP}(dBA) = L_{Aeq} + (L_{10} - L_{90}) \quad (2)$$

3.4.7. Nivel sonoro equivalente día, tarde y noche (L_{den})

Este indicador sonoro informa sobre el valor medio durante un periodo de 24 H, es decir, a lo largo de todo el día. Se expresa en decibeles en ponderación A (dBA) y se calcula a partir de la ecuación (3):

$$L_{den}(dBA) = \log_{10} \left[\frac{12 \cdot 10^{L_D/10} + 4 \cdot 10^{(L_E+5)/10} + 8 \cdot 10^{(L_N+10)/10}}{24} \right] \quad (3)$$

Siendo:

L_D Nivel sonoro equivalente al periodo diurno (de 7 a 19 H) medido en dBA

L_E Nivel sonoro equivalente al periodo vespertino (de 19 a 23 H) medido en dBA

L_N Nivel sonoro equivalente al periodo nocturno (de 23 a 7 H) medido en dBA

Como se observa en la *ecuación (3)* se introduce una corrección de 5 dBA para penalizar el ruido que se origina por la tarde, y otra de 10 dBA para penalizar más el ruido que se origina por la noche, ya que el ruido produce un mayor grado de molestia.

3.5. Plan de estudio y control del ruido

“Los aspectos claves del manejo del ruido incluyen las opciones para reducirlo, modelos de predicción y evaluación del control en la fuente, normas de emisión de ruidos para fuentes existentes y planificadas, evaluación de la exposición al ruido y las pruebas de cumplimiento de la exposición al ruido con las normas de emisión” Organización Mundial de la Salud (OMS).

Para controlar el ruido de una ciudad, lo primero es cuantificar y diagnosticar el ruido y así proponer medidas eficientes para su reducción.

Los resultados de este trabajo permiten a las autoridades concientizadas sobre el problema de la contaminación sonora a reducir los niveles de exposición sonora a niveles seguros y promover la evaluación y control del ruido como parte de los programas de salud ambiental. Uno de los primeros pasos que debe llevar a cabo es un estudio de contaminación sonora, con la finalidad de diagnosticar la situación actual. Esto se puede conseguir con la realización de un análisis subjetivo de la percepción del ruido a través de encuestas específicas a sus habitantes, y la elaboración de mapas de ruido del territorio a evaluar. Posteriormente a este estudio, las autoridades municipales deben desarrollar leyes y reglamentos centrados en el control del ruido.

3.5.1. Análisis subjetivo de la percepción del ruido

Un análisis subjetivo de la percepción del ruido, consiste en realizar un estudio subjetivo a través de encuestas a una población, y determinar el nivel de percepción que tiene esa población acerca del ruido que sufre constantemente en sus viviendas. A partir de estas encuestas, se puede conseguir estimar el número de personas afectadas por el ambiente ruidoso y saber en qué grado les está afectando a su vida cotidiana. Así pues, se cuantifica de una forma aproximada la molestia que el ruido causa a una población concreta y se determinan las principales causas de molestia que se perciben.

Este estudio ayuda al órgano político competente a evaluar el problema del ruido percibido desde la ciudadanía, y saber en qué medidas de mitigación del ruido debe actuar contundentemente, ya que es decisivo que éste decida invertir más recursos en la concienciación de sus ciudadanos sobre qué es, cómo se genera, de qué forma les afecta y cómo se puede evitar el ruido, o por otra parte, centrarse directamente en mitigar o hacer desaparecer las fuentes de ruido. Estas medidas de mitigación del ruido se definen más adelante como directas o indirectas.

3.5.2. Mapas Estratégicos de Ruido (MER)

Una herramienta imprescindible para el estudio y evaluación de ruido para los órganos institucionales de un territorio son los mapas de ruido. Se usan para la toma de decisiones a la hora de querer implantar una política efectiva contra la contaminación sonora y así conseguir aumentar el bienestar y la calidad de vida de sus habitantes.

Los MER consisten en mapas diseñados para poder evaluar globalmente la exposición al ruido en una zona determinada, debido a la existencia de distintas fuentes de ruido, o para poder realizar predicciones globales para dicha zona. Es un instrumento diseñado para evaluar la exposición al ruido, notemos que es una herramienta diferente a lo que se ha venido denominando como mapa de ruido o mapa de niveles sonoros.

Los MER contienen información sobre niveles sonoros y sobre la población expuesta a determinados intervalos de esos niveles de ruido. Los colores en los mapas de ruido representan los intervalos de los niveles de presión sonora que se distribuye en el mapa territorial.

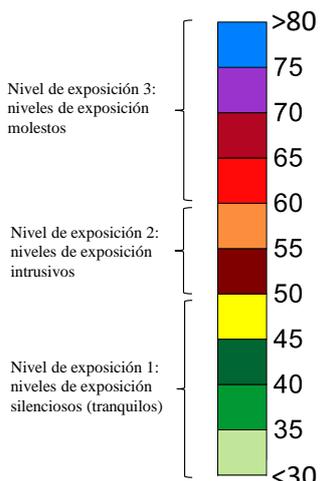


Ilustración 3.1: Escala de colores MER

La OMS afirma que a partir de la exposición prolongada a niveles superiores de 60 dBA (en L_{den}), su efecto empieza a producir daños auditivos permanentes (tener en cuenta la clasificación en la Ilustración 3). No debemos olvidar tampoco que al analizar un MER correspondiente al periodo nocturno (L_N), la exposición durante el descanso nocturno, a niveles superiores de los 55 dBA en exteriores (equivalente a niveles superiores a 30 dBA en interiores aproximadamente), provoca en el ser humano trastorno del sueño, efecto nocivo del que pueden derivarse diversos efectos perjudiciales para la salud.

Con esta herramienta se diagnostica el estado actual del sonido ambiental y se informa a la población. Esto se debe realizar periódicamente, con la finalidad de observar la evolución de la contaminación sonora a lo largo de los años, y detectar la localización de sus fuentes sonoras más impactantes.

Recordar, que los tres periodos de los que se habla a lo largo de todo el documento corresponden a los siguientes horarios:

- Periodo diurno: 7:00-19:00 H
- Periodo vespertino: 19:00-23:00 H
- Periodo nocturno: 23:00-7:00 H

3.5.2.1. Metodología para la confección de mapas de ruido

No es sencillo obtener un mapa de ruido fiel a la realidad. Si bien es cierto que hablando de un territorio con un sistema de gestión y control del ruido bien establecido y ejecutado, donde las características de las fuentes sonoras más críticas como el tráfico de vehículos rodados, obedecen a ciertas reglas de uniformidad, cosa que facilita en gran parte, la simulación por *software* del nivel de ruido en dicho territorio (lo cual en Perú no se cumple).

El proceso para realizar un mapa estratégico de ruido es costoso y delicado.

El trabajo para la realización de un mapa de ruido en una zona específica, se basa en dos métodos de obtención de datos, el experimental y el predictivo. En estas ocasiones, ambos son imprescindibles porque se complementan el uno al otro. Como físicamente no es viable medir todas las avenidas y calles de una misma zona en los tres periodos distintos del día, se procede a hacer un muestreo del mapa ruidoso (muestras experimentales) y con estas como referencia y la obtención de datos orientativos, pasamos a la realización del mapa completo a través de un *software* apto para la predicción de ruido a partir de unos datos de entrada. Es importante conocer bien el *software* que se vaya a usar por el mero hecho de poder explotar su máximo potencial y así acercarnos con él mucho más a los valores reales, teniendo en cuenta sus posibilidades en cuanto a datos de entrada, intentaremos registrar experimentalmente las suficientes medidas para tener una muestra estadística significativa.

Si bien es cierto, que si se opta por no registrar experimentalmente en todos los periodos del día, se debe poder argumentar dicha decisión y predecir los valores que se esperaban registrar.

3.5.2.1.1. Método experimental

Bajo un método experimental, es necesario obtener medidas de ruido de primera mano, es decir, ir a ciertos puntos seleccionados dentro de la zona a evaluar y realizar una campaña de medidas

tomando muestras con un sonómetro cualificado y certificado. Esto se debe hacer, para ayudar a ajustar y validar el método predictivo que usan los *softwares* de mapas de ruido.

A su vez, como mínimo, se debe tomar nota de los datos ambientales del momento, de la ubicación de la medida, de las alturas aproximadas de los edificios de alrededor, del flujo de tráfico rodado (ligero y pesado) y sus velocidades promedias de las vías que se registran.

Los puntos de medida, deben ser preseleccionados intentando registrar muestras de las vías más ruidosas dentro de la zona bajo estudio, algunos puntos representativos con caudal medio y unas pocas de caudal bajo. Con esto tendremos datos suficientes para posteriormente ajustar y validar el método predictivo.

3.5.2.1.2. Método predictivo

El método predictivo en la realización de los mapas de ruido consiste en usar un modelo matemático de propagación del ruido cuyo objetivo es simular los diferentes índices de ruido (L_D , L_E , L_N y L_{den}), en puntos estratégicos repartidos por toda la zona que se quiera evaluar. Estos valores se deducen a partir de las fuentes de ruido definidas y otros valores a tener en cuenta que condicionen el comportamiento normal del sonido (características de las vías de tráfico rodado, altura de las edificaciones, tipo de suelo, etc.). Para poder obtener los valores predictivos, se usan *softwares* de simulación de ruido. Estos pueden usar un modelo predictivo más o menos complejo, que a la hora de obtener resultados deberán de ser próximos a los niveles reales medidos (resultados experimentales) para validar nuestro modelo predictivo.

3.5.3. Medidas, leyes y normas de control del ruido

A continuación vamos a exponer algunas de las posibles medidas por las que se puede optar para conseguir la reducción del ruido en un territorio. Después nombraremos algunos aspectos y características que deben contener unas buenas leyes y normas concernientes al ruido.

Como medidas directas para llevar a cabo un control en zonas afectadas distinguimos tres tipos de medidas según el punto de actuación:

- Establecer límites para las actividades ruidosas, lo que sería actuar sobre la fuente.
- Mejorar la superficie sobre la cual circulan los vehículos de transporte, limitar su velocidad de desplazamiento o insertar barreras entre la fuente y las personas. Estas son medidas que afectarían el medio de transmisión.
- Exigir unas características mínimas de aislamiento acústico del exterior entre las viviendas y locales del territorio. Estas serían medidas de reducción de nivel aplicadas en el punto receptor.

Por otro lado, existen medidas indirectas para controlar el ruido generado en el ambiente, como concienciar a la población sobre la problemática del ruido. Se le debe indicar que es, como se genera, que lo provoca y como evitarlo. Esto se puede llevar a cabo de diversas maneras, como lo son la repartición de trípticos informativos entre los habitantes, la realización de charlas informativas o campañas publicitarias de concienciación...

Según el nivel de preocupación por las autoridades competentes sobre la contaminación sonora y sus efectos sobre sus habitantes, se tendrán unas leyes y normas más o menos explícitas. Cuánto más minuciosa y detallada sea la ley o la norma, más se va a garantizar el control del ruido.

Para la redacción de cualquier ley o norma que se pretenda aprobar con el objetivo de controlar el ruido y limitarlo, se debería tener en cuenta el siguiente cuadro:

Tabla 3.2: ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (1999) “Valores guía para el ruido urbano en ambientes específicos” en Guías para el ruido urbano. Londres

Ambiente Específico	Efecto(s) crítico(s) sobre la salud	L _{Aeq} [dB(A)]	Tiempo [horas]	L _{max fast} [dB]
Exteriores	Molestia grave en el día y al anochecer	55	16	-
	Molestia moderada en el día y al anochecer	50	16	-
Interior de la vivienda, dormitorios	Interferencia en la comunicación oral y molestia moderada en el día y al anochecer	35	16	
	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	45
Fuera de los dormitorios	Trastorno del sueño, ventana abierta (valores en exteriores)	45	8	60
Salas de clase e interior de centros preescolares	Interferencia en la comunicación oral, disturbio en el análisis de información y comunicación del mensaje	35	Durante clases	-
Dormitorios de centros preescolares, interiores	Trastorno del sueño	30	Durante el descanso	45
Escuelas, áreas exteriores de juego	Molestia (fuente externa)	55	Durante el juego	-
Hospitales, pabellones, interiores	Trastorno del sueño durante la noche	30	8	40
	Trastorno del sueño durante el día y al anochecer	30	16	
Hospitales, salas de tratamiento, interiores	Interferencia en el descanso y la recuperación	#1		
Áreas industriales, comerciales y de tránsito, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	70	24	110
Ceremonias, festivales y eventos de entretenimiento	Deficiencia auditiva (patrones: > 5 veces/año)	100	4	110
Discursos públicos, interiores y exteriores	Deficiencia auditiva	85	1	110
Música y otros sonidos a través de audífonos o parlantes	Deficiencia auditiva (valor de campo libre)	85 #4	1	110
Sonidos de impulso de juguetes, fuegos artificiales y armas	Deficiencia auditiva (adultos)	-	-	140 #2
	Deficiencia auditiva (niños)	-	-	120 #2
Exteriores de parques de diversión y áreas de conservación	Interrupción de la tranquilidad	#3		

#1: Lo más bajo posible.

#2: Presión sonora máxima (no LAD, máx) medida a 100 mm del oído.

#3: Se debe preservar la tranquilidad de los parques y áreas de conservación y se debe mantener baja la relación entre el ruido intruso y el sonido natural de fondo.

#4: Con audífonos, adaptado a valores de campo libre.

La aplicación y garantía de cumplimiento de las leyes y normas acerca del ruido suponen la actuación de unas autoridades eficientes y una ciudadanía consciente.

4. ZONA DE ESTUDIO

El Perú es un país latinoamericano con casi $1,3 \cdot 10^6$ km² de extensión total sobre la cual conviven alrededor de 30 millones de personas. Hablamos de un país geográficamente completo, pues abarca tres regiones naturales bien distintas: costa, sierra y selva³.

El Perú, como el resto de países latinoamericanos, es un país que se encuentra en pleno desarrollo, cosa que justifica que la exposición al ruido sea a menudo mayor debido a la deficiente planificación urbana de las ciudades y la falta de normativa en cuanto al aislamiento acústico en la construcción de los edificios [2].

Su capital, Lima, es una ciudad estratégicamente fundada por colonos españoles en el s.XVI. Actualmente, concentra un tercio de la población total del país (casi 10 millones de habitantes). Esta gran densidad de población en una misma ciudad, obliga a una organización descentralizada, y es por ello que Lima, se encuentra dividida políticamente en distritos. Lima se divide en un total de 43 distritos, los cuáles son administrados a nivel de distrito por las correspondientes Municipalidades.

Sobre el ruido generado por el transporte terrestre en Lima, debemos tener en cuenta tres aspectos clave en su estudio (a parte de las condiciones que tendríamos en nuestro país para un estudio de la misma magnitud):

- El actual estado de las vías en Lima no tienen el mismo cuidado. Es decir, para cada calle y avenida existe un tipo de asfalto, con una uniformidad y un estado diferentes para cada caso. Esto provoca que calles o avenidas, que en nuestro país se podrían definir como equivalentes, acústicamente hablando, por el único hecho de tener el mismo caudal de flujo de tráfico, no es posible hacerlo en esta ciudad sin antes fijarse en la semejanza del pavimento asfaltado.
- El transporte que se permite circular en Lima es generalmente antiguo, y se aprecia fácilmente su mal estado. Estos transportes son muy ruidosos, y una falta de control en el estado del tráfico rodado, provoca que cada uno pueda circular con una bocina, una alarma, una sirena de aviso de la marcha atrás o una sirena de emergencia distintas para cada vehículo, a la vez que el uso de una salida de escape no homologada.
- Está excesivamente generalizado el uso del claxon para cualquier caso y situación, hasta el punto que los taxis van haciendo sonar su bocina como reclamo de clientes, los vehículos personales lo usan en todo momento para hacerse visibles a otros conductores, y todo vehículo lo usa para hacer avisos y quejas de cualquier tipo sobre otros vehículos.

Lo mencionado anteriormente son aspectos que en el registro de las medidas debemos tener en cuenta tanto en la espacialidad como en la temporalidad de estas, considerando la representatividad, ya que se debe asegurar su estabilidad a pesar de haber cumplimentado su duración marcada inicialmente para el estudio (esta duración a efectos prácticos será variable según las consideraciones nombradas anteriormente).

³ TAPIA GIL, K.M. (2016) *Formación y desarrollo de barriadas en las ciudades de Arequipa, Cusco, Lima y Trujillo*. Investigación académica. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

4.1. Contextualización

El estudio sobre el cual está hecho el presente trabajo, ha sido contratado por la Municipalidad de San Isidro para la realización del primer estudio representativo sobre el ruido que afecta a sus habitantes.

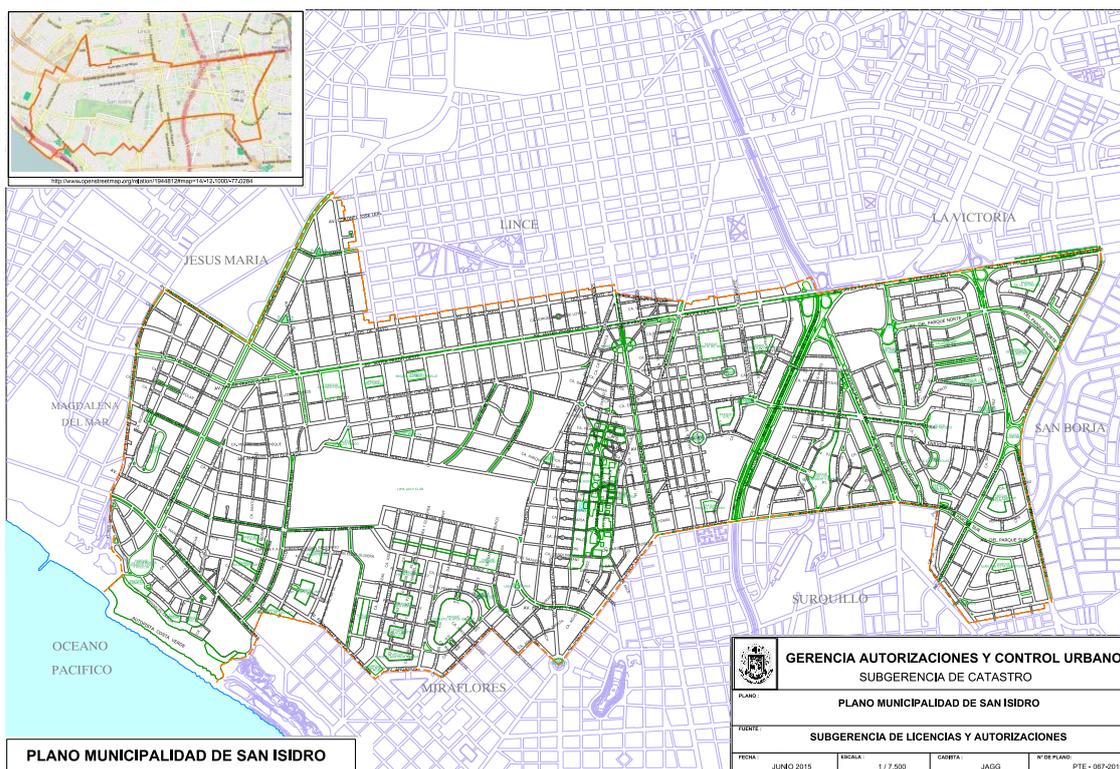


Figura 4.1: Plano Municipalidad de San Isidro

El anterior plano (Figura 4.1) muestra los límites del distrito de San Isidro.

Este distrito es considerado el centro financiero de la ciudad de Lima y uno de los distritos financieros más importantes de Latinoamérica, a la par de estar en constante modernización y que cuenta con grandes extensiones de zonas verdes. Además su importancia en el país viene respaldada por su gran extensión de terreno ocupado (11,1 km² aprox.) y sus 58056 habitantes, considerados en su gran mayoría de clase social económicamente y culturalmente alta. Todo esto lleva al distrito de San Isidro a ocupar el primer puesto en el Índice de Desarrollo Humano (IDH) de los distritos del Perú, con una valoración de 0.8085.

Cabe añadir, que la propia Municipalidad de San Isidro (MSI), divide el distrito en 5 sectores, y estos los divide a su vez en subsectores. Pero para este proyecto, se hará referencia únicamente a sus 5 sectores principales (ver Figura 4.2), a la hora de decidir la dispersión de los puntos de medición.

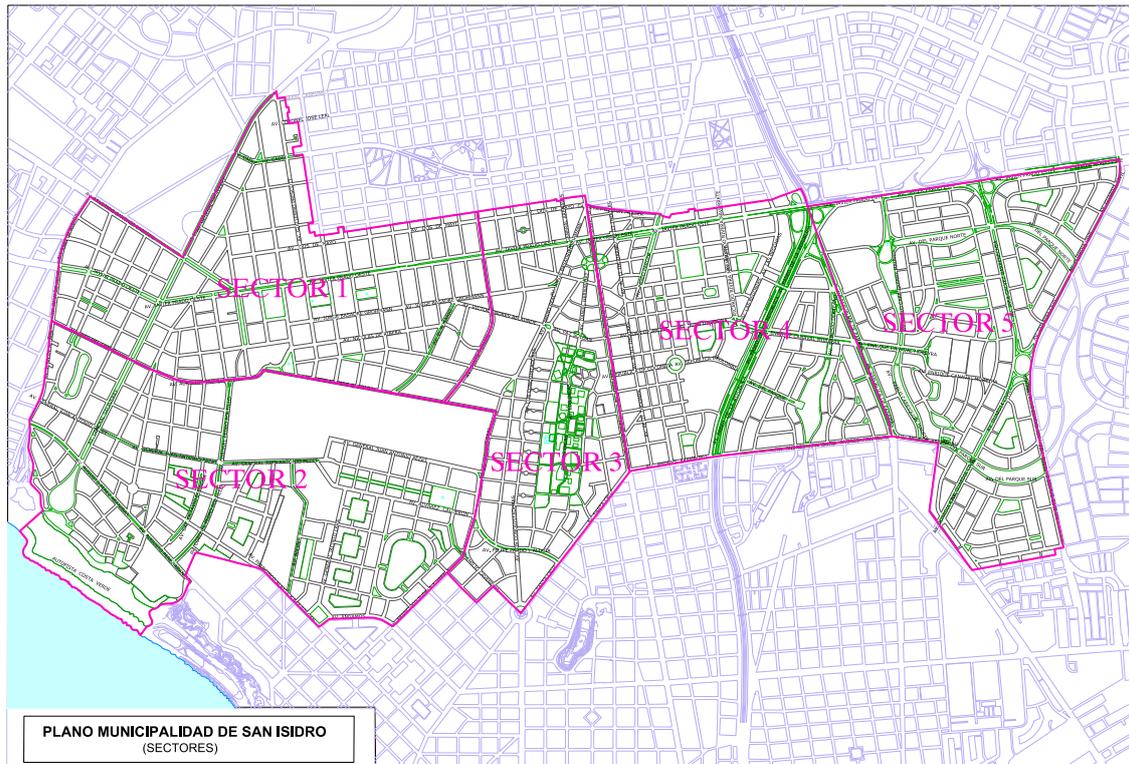


Figura 4.2: Sectores de la Municipalidad de San Isidro

Al considerarse, San Isidro, el centro financiero de Lima, en la gran parte del sector 4 y una pequeña del 3, se encuentran las sedes de las empresas nacionales e internacionales más importantes, económicamente hablando.

4.2. Justificación del proyecto

Como dice la OMS, “a diferencia de otros problemas ambientales, la contaminación acústica sigue en aumento y produce un número cada vez mayor de reclamos por parte de la población” [2], por ello se debe empezar a controlar y disminuir el efecto nocivo en los habitantes expuestos la contaminación acústica.

La densidad vehicular, el estado mecánico, la ausencia de una adecuada gestión del tránsito y de las construcciones en proceso y la falta de concienciación ciudadana en temas ambientales, son parámetros que influyen en los valores elevados de los niveles de presión sonora, que estarían afectando principalmente aéreas especiales (hospitales, centros de estudio, áreas verdes y de descanso), edificios residenciales, centros de trabajo (oficinas, laboratorios), en general habitantes y población flotante.

La OMS reconoce los mapas de ruido como un componente crucial en la creación de planes de reducción de ruido [5, 6]. Además, sugiere que se debe realizar la confección de mapas de ruido para todas las fuentes que impacten en la comunidad (tráfico, aviones [7], trenes, industria, obras, festivales y actividad humana en general). También menciona que es necesario el desarrollo de estudios de monitoreo del impacto global del ruido [2]. Asimismo añade que dado el carácter subjetivo de la molestia que produce el ruido, la evaluación de este parámetro debe llevarse a cabo utilizando técnicas de análisis, como las encuestas. [4].

La Municipalidad de San Isidro, bajo el pretexto de este estudio, quiere empezar a llevar a cabo una política de medidas contra el ruido que sufren sus habitantes a raíz del incremento de quejas sobre ruido que estos le han formalizado. Así pues, con el reclamo de los habitantes y ese generalizado malestar mostrado se va a realizar el estudio para ser usado como referente del actual estado del ruido en San Isidro y la percepción que tienen sus habitantes.

5. ANÁLISIS SUBJETIVO DE PERCEPCIÓN DEL RUIDO

5.1. Metodología

5.1.1. Distribución de la encuesta

Para la distribución de la encuesta se diseñó un trabajo de muestreo aleatorio, con estratos dentro de los cinco sectores del distrito. Esta forma de muestreo consistió en dividir a la población en sectores que cubrieran la totalidad del área estudiada en el mapa de ruido.

A los encuestadores se les dio instrucciones de realizar las encuestas en forma equitativa dentro de la zona de estudio, siguiendo rutas aleatorias, además, quien debe responder a la encuesta, podía ser una persona en su vivienda o en un ambiente externo, teniendo como requisito único vivir en el distrito de San Isidro, ya que la única condición (no estricta) es que la persona que debe responder el cuestionario fuera preferentemente mayor de 15 años.

5.1.2. Cálculo del número de muestras necesarias para un estudio fiable

El tamaño de la muestra se determinó teniendo en cuenta tres factores importantes: el tiempo de duración del proyecto, el presupuesto para llevar a cabo el estudio y la representatividad estadística.

Además, teniendo en cuenta que la población aproximada en el área seleccionada es de 58056 habitantes⁴, se utilizará la siguiente ecuación para el cálculo del tamaño de la muestra [8]:

$$n = \frac{4NPQ}{\delta^2(N-1) + 4PQ} \quad (4)$$

Dónde:

N	Tamaño de la población bajo estudio
n	Tamaño de la muestra
P	Porcentaje con el que se verifica el fenómeno en estudio
Q	Porcentaje complementario
δ	Incertidumbre absoluta máxima tolerada para validar la predicción

5.2. Encuesta subjetiva

5.2.1. Número mínimo de muestras

Para el cálculo del tamaño de la muestra se debe emplear la ecuación (2), bajo hipótesis de distribución normal del estimador. Los supuestos para este cálculo de tamaño de muestra fueron:

- Varianza poblacional, los parámetros P y Q se toman $P=Q=50\%$, obteniendo un producto máximo entre ambos (por tanto, una muestra mayor a la necesaria).
- Valor de significación, o nivel de confianza. En nuestro caso 0.05, significa que el nivel de confianza sea 95%. El nivel de confianza hace referencia a la probabilidad de acertar, es decir, a la probabilidad de una estimación, en ausencia de sesgos que se ajusta a la realidad. La incertidumbre cometida al hacer la predicción (incertidumbre de la variable), es en nuestro caso tomando $\delta=5\%$.

⁴ MUNICIPALIDAD DE SAN ISIDRO *Población y crecimiento*. <<http://msi.gob.pe/portal/nuestro-distrito/informacion-general/poblacion-y-crecimiento/>> [Consulta: Marzo 2016]

El número de encuestas que se debe realizar es considerando el mejor escenario de error, en este caso $\delta = 5\%$, para poder tener una referencia de la variación de la muestra.

De acuerdo a los cálculos, resueltos con los datos anteriores, bastarían 397 encuestas para tener la seguridad de trabajar con una muestra representativa de la población. Este valor sería suficiente aun considerando que la población se haya duplicado dentro de unos años [9], aunque las estadísticas indican que hay un decrecimiento progresivo de la población.

5.2.2. Diseño de la encuesta

Para el diseño del cuestionario se tomaron como base aquellas preguntas empleadas en las encuestas para los estudios acústicos en el Distrito de Miraflores [10] en Perú, en las Islas Baleares [11] y en la Comunidad de Madrid [12] en España. Este último, realizado en 1997, incluyó a 17 municipios de la Comunidad Autónoma de Madrid para la confección de mapas de ruido.

Con todos los datos relevantes y aplicables a nuestro caso se confeccionó un cuestionario con un total de 33 preguntas (con la finalidad de reducir el tiempo invertido por el encuestado en contestar todo el cuestionario). De estas 33 preguntas realizadas para el estudio, 6 corresponden a datos sociológicos, y las restantes se enfocan a obtener datos puramente acústicos.

En las preguntas enfocadas sobre datos acústicos, nos hemos centrado en la detección y valoración de las fuentes sonoras y molestias del ruido que se perciben en el área de estudio, la percepción subjetiva del aislamiento de la vivienda donde reside el encuestado y la importancia personal de la problemática del ruido.

Además, se le pregunta al encuestado sobre el día más ruidoso de la semana, si ha notado algún incremento de ruido en los últimos años y algunas recomendaciones o medidas políticas que le gustaría que se adoptasen desde la municipalidad para la reducción del ruido en el distrito.

Las opciones de respuestas a las preguntas sobre las fuentes sonoras que más se escuchan y molestan están compuestas por cinco escalas verbales, como sigue (ver *Tabla 5.1*):

Tabla 5.1: Opciones de respuesta en sobre fuentes

Se escucha	Le Molesta
Muy fuerte	Excesivamente
Fuerte	Mucho
Regular	Regular
Suave	Poco
Nada	Nada

Añadir que en la pregunta sobre las fuentes de ruido que más molesta, se ha tenido que hacer una distinción entre el tráfico vehicular y el sonido de bocinas porque que en Lima se nota un uso excesivo indiscriminado.

Al ser una encuesta adaptada desde instrumentos ya empleados y probados en estudios acústicos, no se estima necesario validar el cuestionario aplicándolo como pre-test, siendo la práctica habitual para otros casos.

El cuestionario completo que se empleó para el estudio, se adjunta en el *Anexo I: Encuesta*.

5.3. Resultados

Se llevaron a cabo un total de 398 encuestas, llegando así al número de muestras que nos asegura una representatividad de estos resultados sobre la población total de la zona llevada a estudio con una incertidumbre del 5%.

A continuación se van a exponer los resultados más relevantes extraídos de los resultados de los cuestionarios rellenos con la opinión de la ciudadanía afectada acerca del ruido.

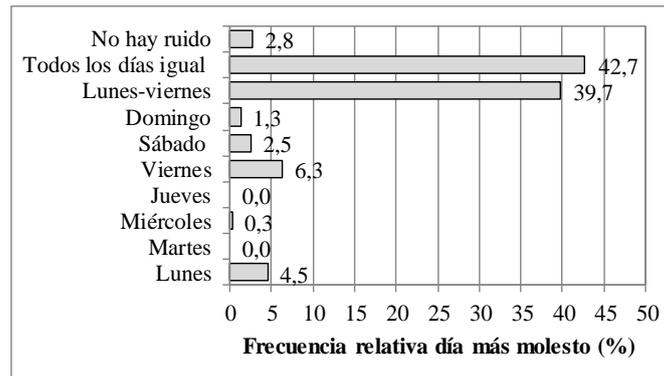


Figura 5.1: Día más molesto

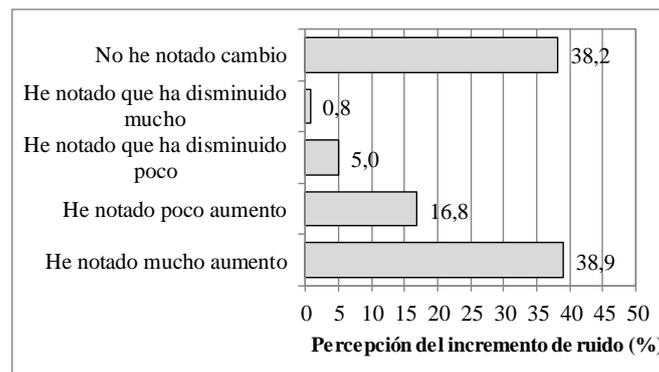


Figura 5.2: Incremento del ruido

Observamos en la *Figura 5.1* como el 42,7% de los entrevistados perciben que todos los días de la semana son molestos debido al ruido y el 39,7% opinan que los días de lunes a viernes son más.

Sobre el cambio del ruido en los últimos años, la *Figura 5.2* muestra cómo mientras el 38,9% de los entrevistados han notado mucho incremento del ruido en los últimos años, el 38,2% no ha notado cambio.

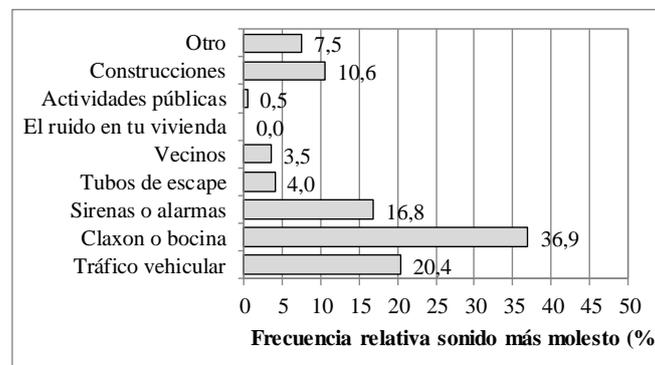


Figura 5.3: Sonido más molesto

En la *Figura 5.3* se identifica como fuente de molestia más ruidosa percibida por los ciudadanos, el uso indebido del claxon o bocina (36,9%), seguido del ruido por actividades del tráfico vehicular (20,4%), señalando directamente la percepción del tráfico rodado como gran problema de la contaminación acústica.

El 83,5% de los encuestados manifiesta que el ruido es un problema que deteriora su calidad de vida, mientras que el 16,5% piensa que no. Respecto a que si las autoridades combaten adecuadamente el ruido, el 75,8% opina que no, y solo el 24,2% opina lo contrario.

En un caso hipotético, si pudiesen elegir la ubicación de su vivienda un 50,5% prefiere el criterio de un lugar menos ruidoso aunque sea fuera del distrito de San Isidro, por otro lado un 49,5% prefiere el criterio de vivir en San Isidro aunque sea ruidoso.

En la *Tabla 5.2* se muestran los resultados de la percepción del aislamiento de las viviendas de los entrevistados para el día y noche.

Tabla 5.2: Percepción de aislamiento en viviendas

Escala verbal	Percepción de aislamiento	
	día (%)	noche (%)
Bueno	39,7	40,2
Malo	60,3	59,8

Presentamos a continuación (ver *Tabla 5.3*) la valoración de escucha del sonido de un claxon dentro de las viviendas, indicador que debe de ser similar al resultado sobre la percepción del aislamiento de la vivienda propia (*Tabla 5.2*). Si relacionamos ambas preguntas muestran un claro ejemplo con la conciencia que se ha respondido la encuesta.

Tabla 5.3: Escucha de claxon en viviendas

Escala verbal	Escucha el claxon dentro de su vivienda (%)
Ud. lo escucha claramente	79,4
Ud. apenas lo escucha	17,6
Ud. no lo escucha	3,0

Comparando las respuestas de la *Tabla 5.2* y de la *Tabla 5.3*, se percibe que la ciudadanía no define claramente el aislamiento de la vivienda como un problema del ruido.

En cuanto a las políticas y medidas recomendadas para controlar el ruido en San Isidro los resultados se muestran en las siguientes tablas (*Tabla 5.4* y *Tabla 5.5*).

Tabla 5.4: Políticas recomendadas por vecinos

Políticas recomendadas	Frecuencia relativa recomendada (%)
Endurecer la norma actual sobre ruido	31,7
Realizar estudios sobre ruido e informar a los vecinos sobre los niveles al que está expuesto	12,7
Educar a la población para que desarrolle sus actividades sin generar mucho ruido	49,2
Otras políticas	6,4

La principal política preventiva que recomiendan los vecinos (ver *Tabla 5.4*) es que se debe educar a la población para que se desenvuelva diariamente sin hacer demasiado ruido (49,2%), por otro lado, el 31,7% sugiere endurecer la norma actual sobre ruido, y el 12,7% recomienda realizar estudios sobre ruido.

En cuanto a las medidas a tomar por la Municipalidad según la ciudadanía, en primer lugar, el 40,2% recomienda multar a los vehículos que generan ruido, seguido de ordenar y fomentar el transporte público (37,9%).

Por último, añadir que los principales efectos provocados por el ruido según los entrevistados son el estrés con un 31,3 %, el dolor de cabeza (20,1 %) y la pérdida de concentración (17,8 %). Las actividades interrumpidas a diario por el ruido son el descanso (23,3 %) y el estudio o lectura (16,8 %).

6. MAPAS ESTRATÉGICOS DE RUIDO

En este punto del trabajo se va a indicar el proceso realizado para la creación de los mapas de ruido. Se va a reducir el área de trabajo original (distrito de San Isidro al completo), para poder diferenciar así este trabajo del estudio contratado por la Municipalidad y presentaremos unos resultados propios y únicos obtenidos. Además, se van a realizar los mapas de dos modos, usando dos *softwares* de simulación de mapas de ruido, uno libre y otro comercial, añadiendo al trabajo un aspecto comparativo entre *softwares* y así ampliaremos nuestro conocimiento sobre la realización de mapas de ruido para casos reales.

Así pues, a continuación se muestra el área de estudio del presente trabajo. Ésta englobará la zona pintada de azul en la imagen, reduciendo el total del distrito (11,1 km² aprox.) a un área de unos 5,5 km² aproximadamente (*Figura 6.1*).

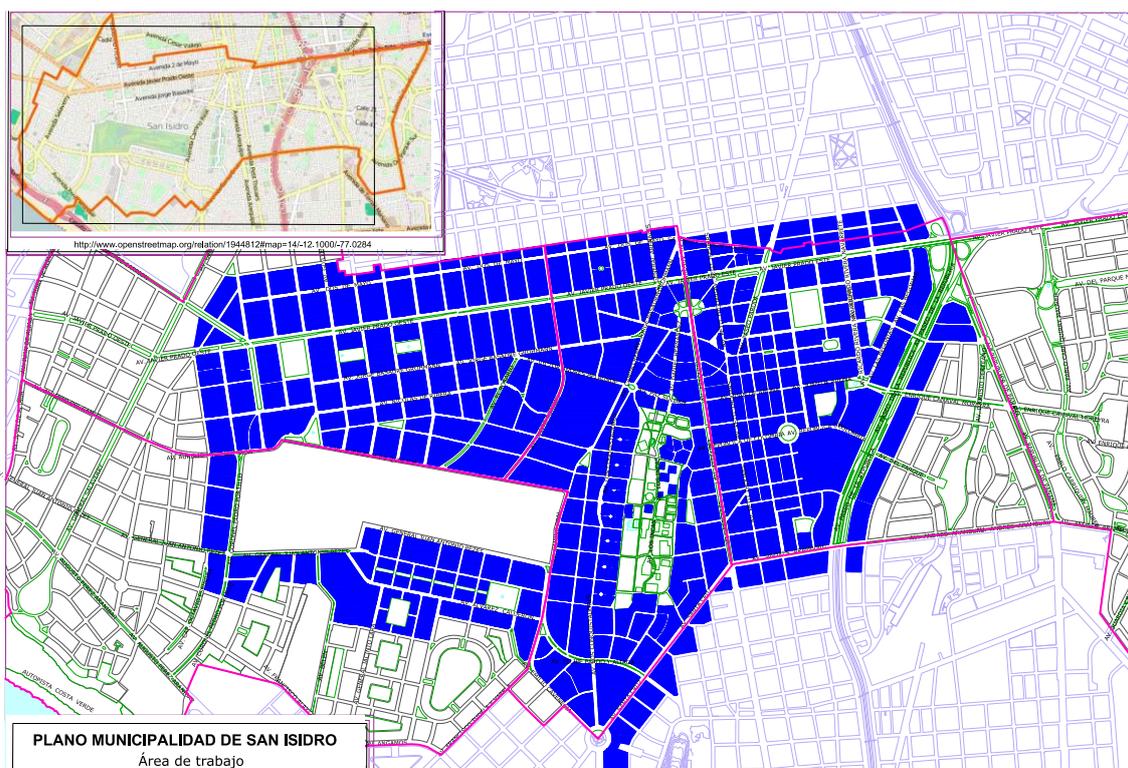


Figura 6.1: Área de trabajo TFG

6.1. Metodología

Los siguientes mapas de ruido han sido desarrollados bajo criterios de una metodología sencilla que considera la distribución espacial y temporal de las mediciones (medidas de corta duración –entre 10 y 20 minutos por lo general- en cada periodo del día) y el flujo de tráfico vehicular, con un muestreo representativo y significativo complementado con metodologías de predicción.

Hace falta, una vez simulado el mapa, que lo ajustemos para que los valores sean los más fieles posible a la realidad. Así que se va a comparar los valores de los puntos medidos con los valores obtenidos por predicción en los puntos que se introdujeron como receptores en el programa, y si esta diferencia, en valor absoluto, es mayor a 3 dB del valor medido se deberá reajustar y volver a simular. El ajuste de los mapas se hace variando la velocidad promedio estimada durante el muestreo “in situ” para cada punto medido, y si no hemos conseguido acercarnos al valor medido, excepcionalmente procedemos a variar ligeramente el flujo de tráfico en busca del nivel medido. Esto está justificado ya que las medidas no superan por lo general los 20 minutos de duración y en el *software* introducimos un valor de vehículos por hora, por lo que podemos variar teniendo en cuenta la incertidumbre que este proceso conlleva.

Se van a realizar los mapas sonoros para el nivel equivalente de la energía promedio del sonido con ponderación A (L_{Aeq}) en los tres periodos del día definidos, como recomienda la OMS, ya que se pretende evaluar el ruido ambiental continuo durante cada periodo⁵, bajo las directrices que se recomiendan en las normas ISO⁶ correspondientes, en la medida de lo posible.

Sobre los mapas de ruido, es habitual presentarlos con las edificaciones opacas. En esta ocasión, se van a graficar las edificaciones transparentes con el fin de poder comparar el comportamiento del ruido según el modelamiento de cada *software* usado, por ello cuando hablemos de niveles, los valores dentro de las edificaciones no se tienen en cuenta, y tener presente que no corresponden a los niveles en el interior de las edificaciones.

6.1.1. Instrumentación y software de predicción del ruido

La siguiente lista corresponde al equipo utilizado en la captación de los eventos sonoros y las imágenes del punto de medición:

- Analizador espectral y Sonómetro integrador de precisión de clase I. *Marca NTI, modelo XL2 Audio and Acoustic Analyzer. Número de serie A2A-05475- E0.*
- Micrófono de clase I. *Marca NTI, modelo ACO 7052. Número de serie 53162*
- Preamplificador. *Marca NTI, modelo MA 220 NTI Audio. Número de serie 2098*
- Calibrador sonoro de clase I. *Marca Brüel & Kjær, modelo 4132. Número de serie 2326225*
- Cámara fotográfica. *Marca Panasonic Lumix, modelo DMC-TS30. Número de serie WL5FA001075*
- Trípode.

El instrumental de medición utilizado cumple con todos los requerimientos técnicos y normativos internacionales. En el *Anexo IV: Certificado de calibración* de este documento se muestra el certificado de calibración en vigencia del sonómetro utilizado.

En cuanto a las coordenadas UTM, se optó por tomar la información satelital disponibles en *Google Earth*, porque son de mayor precisión que los que se pueden obtener con un GPS no diferenciado.

Para la simulación de los datos se han usado los softwares *opeNoise v0.3.1* de licencia gratuita y el *Predictor-LimA v11.10* bajo licencia de pago.

Los resultados de ambos *softwares* de predicción sonora, han sido graficados con el *software* bajo licencia de pago *Surfer v10*, para así facilitar la comparación visual entre ambos resultados.

6.1.1.1.1. Software libre *opeNoise v0.3.1*

El programa *opeNoise* es un *plugin* para el *software QGis* de licencia libre. Se usa para la predicción de niveles de ruido generados por vías de tráfico rodado.

Para sus predicciones usa el método nacional de cálculo francés NMPB-Routes-96. Considera los puntos receptores a 4 m.s.n.s. y el modelamiento que hace es únicamente en 2 dimensiones.

⁵ Aunque la Municipalidad de San isidro solo distingue periodo diurno y nocturno en su legislación [13].

⁶ Norma UNE ISO 1996-1: 2003 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 1: Magnitudes básicas y métodos de evaluación.

Norma UNE ISO 1996-2: 2007 Acústica. Descripción, medición y evaluación del ruido ambiental. Parte 2: Determinación de los niveles de ruido ambiental.

Este *plugin*, considera el terreno plano y no tiene en cuenta absorciones, difracciones ni reflexiones. Sobre las edificaciones, las considera como meros obstáculos de la misma altura, teniendo en cuenta únicamente su geometría.

6.1.1.1.2. Software Brüel & Kjær Predictor-LimA v11.10

Predictor-LimA es un completo *software* bajo licencia de pago de Brüel & Kjær, el cuál sirve para una diversidad de aplicaciones completas de simulación en mapas de ruido.

Al contrario que *opeNoise*, en sus cálculos si se tienen en cuenta difracciones y reflexiones, permite ajustar cada receptor a la altura deseada y las edificaciones se ajustan con sus respectivas alturas, lo que le permite hacer cálculos también en 3 dimensiones, y tiene infinidad de ajustes y parámetros que mejoran los resultados de las simulaciones.

Para nuestro caso, lo usaremos para obtener los valores de una simulación del ruido provocado por el tráfico rodado en el distrito de San Isidro y así poder graficar su correspondiente mapa de ruido.

Cabe añadir que ambos *softwares* de predicción cuentan con el mismo modelo matemático de cálculo predictivo, el modelo de cálculo francés NMPB de ruido de tráfico.

6.1.1.2. Distribución espacial de los puntos de medición

Los puntos de medición se intentarán repartir cubriendo la totalidad del área representativa, llevada a estudio. Así que se registrarán las vías más problemáticas desde el punto de vista de la contaminación acústica, las más ruidosas con un caudal de tráfico elevado. Se registrarán muestras de vías con caudal medio y de las vías menos ruidosas para poder conseguir suficientes muestras representativas. Y así cubrir las zonas más características de la zona seleccionada para el estudio y ser estos puntos de medición los usados como referentes en las calles equivalentes de sus alrededores, pudiendo así justificar una correcta simulación en los mapas de ruido.

Aun sabiendo que la UNE-EN ISO 1996-2 nos dice que se debe medir colocando el micrófono entre 3 y 11 metros de altura para registrar efectos meteorológicos, se registrarán las mediciones con el micrófono colocado en un trípode a una altura de 1,5 metros, por su fácil y rápido manejo, y por estar demostrado que dichos efectos no alteran los resultados en un intervalo crítico para un estudio de contaminación acústica ambiental (que para nuestro caso, sería más de 2 dB), por lo que se pueden calificar de despreciables estas diferencias.

6.1.1.3. Distribución temporal de los puntos de medición y duración de las muestras

Se debe buscar una distribución temporal de los puntos de medición que garantice la mayor representatividad de la zona y así poder obtener un ajuste correcto con los modelos de simulación.

En todos los puntos se debe registrar el nivel sonoro en las tres franjas horarias existentes (periodo día, periodo tarde y periodo noche).

Los primeros 8 puntos de medida serán estudiados cuidadosamente a lo largo de la primera semana de toma de medidas para demostrar la no variabilidad temporal del ruido, en cuanto a medir en un horario de mañana (8:00-14:00 H) y en uno de tarde (15:00-19:00 H) o cuanto al día de entre semana registrado.

Estos 8 puntos han de presentar características acústicas importantes (vías de alto, medio y bajo tránsito) representativas del lugar a estudiar.

Es importante verificar como la variación de los niveles sonoros en las calles del distrito de San Isidro en diferentes franjas horarias y días de entre semana son en la práctica despreciables, es

decir, se debe demostrar que a lo largo de la semana (de lunes a viernes) en estas calles se puede medir en cualquier franja horaria del periodo día y los niveles sonoros no experimentarán una variación considerable ni aun siendo días distintos de entre semana.

Así pues, mediremos los puntos a lo largo de todo el periodo día y, si nuestro supuesto se cumple, podremos decir que las medidas que se van a tomar para el estudio son muestras representativas de los puntos en el periodo día.

El registro en cada punto de medición, para este proyecto, se hará en los dos periodos del día completo más críticos, el periodo diurno y el periodo nocturno.

Esta falta de registro en el periodo de tarde, se justifica por no ser un periodo difícil de predecir teniendo el periodo diurno, por su corta duración (19:00-23:00 H) y la falta de presupuesto destinado al proyecto, ya que el flujo vehicular en la ciudad de Lima, en este periodo, se sabe que se reduce ínfimamente en comparación con el del periodo día. Así pues, este valor será fácil obtenerlo por predicción con datos de otros estudios en Lima.

La distribución temporal se realizará considerando el método de estudios simplificados, estableciéndose un registro sonoro de 10 minutos en franjas horarias del periodo diurno, y en periodo nocturno se tendrá un registro sonoro de 20 minutos debido a la mayor fluctuación de las fuentes sonoras y el menor caudal de tráfico. Esto se cumplirá en la medida de lo posible, aunque es primordial garantizar la estabilidad de los datos, por ello puede verse modificada la duración de medida en algunos puntos, lo que se justificará en cada caso.

6.1.1.4. Resultados de las medidas

En el apartado 6.3 *Resultados* se indicarán los valores de nivel de presión sonora con ponderación A (L_{Aeq}) de cada periodo y se comentarán los resultados obtenidos para cada punto estudiado en todas sus situaciones (resultados experimentales y simulados).

A demás se adjuntarán en el *Anexo III: Datos meteorológicos durante las mediciones*, los datos correspondientes a las condiciones ambientales que se tenían al inicio de cada jornada de medición.

6.2. Registro de indicadores sonoros

Los resultados de las medidas en cada punto se exponen de forma detallada en el *Anexo II: Fichas de puntos* donde para cada punto de medición se tiene el valor de cada indicador sonoro explicado en el apartado 3.5 *Indicadores sonoros* de este mismo documento, el análisis espectral y las fotografías obtenidas durante su registro.

6.2.1. Ubicación de los puntos de medición

En total se han llevado a estudio 54 puntos distintos, cubriendo así un aproximado de 5,5 km², por lo que la distribución espacial ha quedado en un punto por cada 0,1 km². En la tabla siguiente se muestra la posición de los puntos y sus coordenada UTM (ver *Tabla 6.1*).

Tabla 6.1: Ubicación puntos de medida

Punto de medida	Sector MSI	Dirección	East	North
P01	3	Ca. La República, 426	278428,592	8661416,84
P02	3	Ca. La República, 272	278443,837	8661522,38
P03	3	Av. Choquehuanca, 390	278613,008	8661631,83
P04	3	Av. Los Incas, 355	278567,985	8661544,51
P05	3	Ca. Hermilio Hernández con Constancio Bollar	278496,806	8661436,1
P06	3	Av. Arequipa, 3520	278827,833	8661459,16
P07	3	Av. Javier Prado, 445	278350,981	8662374,61
P08	3	Av. Camino Real, 355	278374,062	8661852,71
P09	3	Av. Camino Real, 751	278157,636	8661404,44

P10	3	Ca. Los Libertadores, 569	278226,288	8661175,66
P11	3	Av. Los Conquistadores, 750	278299,771	8661161,44
P12	3	Av. Pardo y Aliaga, 330	278398,868	8660745,3
P13	3	Av. Sta. Cruz, 352	278562,148	8660761,54
P14	3	Prolongación Arenales, 420	278756,225	8661206,09
P15	3	Av. Arequipa, 3030	278737,717	8662021,16
P16	3	Av. Paz Soldán, 115	278678,579	8661870,25
P17	3	Ca. Víctor Andrés de la hunde, 214	278258,258	8662008,43
P18	3	Av. Jorge Basadre, 536	278213,992	8662122,58
P19	3	Av. Dos de mayo, 649	278147,976	8662519,83
P20	4	Ca. Percey Gibson, cdra.1	278929,431	8662555,44
P21	4	Ca. Virrey Abascal, 259	278966,434	8662530,09
P22	4	Av. Paseo Parodi, cdra.1	279045,958	8662533,14
P23	4	Av. Paseo Parodi, 387	279007,314	8662397,22
P24	4	Ca. Amador Merido Reyna, 285	279209,598	8662382,45
P25	4	Ca. Las Camelias, 452	279155,15	8662177,2
P26	4	Ca. Los Geranios, 258	279324,882	8662626,55
P27	4	Av. Ricardo Rivera Navarrete, 2868	279353,092	8662574,29
P28	4	Ca. Coronel Andrés Reyes, 256	279122,462	8662187,1
P29	4	Av. Petit Thouars, 3728	278919,103	8661673,18
P30	4	Av. Juan de Arona, 305	278960,982	8661922,85
P31	4	Av. Juan de Arona, 670	279147,749	8661952,22
P32	4	Ca. Las Begonias, 459	279650,752	8662353,9
P33	4	Av. Paseo de la República, cdra.30	279734,655	8662334
P34	4	Av. Paseo de la República, cdra.35	279428,932	8661661,49
P35	4	Ca. Augusto Tamayo, 180	279359,744	8661817,64
P36	4	Av. Andrés Aramburú, 365	279268,764	8661255,79
P37	4	Av. Andrés Aramburú, 181	278948,723	8661187,97
P38	1	Av. Dos de mayo, 1574	277190,181	8662387,78
P39	1	Av. Javier Pardo Oeste, 1440	277342,724	8662219,09
P40	1	Ca. Santo Toribio, 210	278081,633	8661798,85
P41	1	Av. Aurelio Miró Quezada, 250	277850,259	8661561,88
P42	1	Av. Aurelio Miró Quezada, 540	277398,708	8661637,24
P43	1	Ca. Los Rosarios, 260	277858,919	8661882,76
P44	1	Ca. Los Robles, 354	277677,011	8662123,53
P45	1	Av. Jorge Basadre, 1175	277597,806	8662044,01
P46	1	Ca. Los Nogales, 444	277447,494	8661967,87
P47	1	Ca. Las Flores, 435	277198,584	8661916,7
P48	1	Ca. Carlos Porras Osoreo, 424	276964,633	8661926,76
P49	1	Ca. Los Castaños, 410	276837,846	8661967,3
P50	2	Av. Portillo, 220	276743,343	8661453,51
P51	2	Av. General Juan Antonio Pezet, 1165	276946,412	8661226,96
P52	2	Av. Álvarez Calderón, 530	277609,843	8661034,96
P53	2	Av. Miguel Cervantes, 440	277656,53	8661144,43
P54	2	Av. General Juan Antonio Pezet, cdra.4	277672,829	8661262,78

El etiquetado de cada punto se ha ido realizando *in situ*, pudiendo garantizar un desplazamiento entre puntos más libre y rápido.

Podemos observar la ubicación de los puntos (*Tabla 6.1*) redistribuidos en el mapa de la zona (*Figura 6.2*).

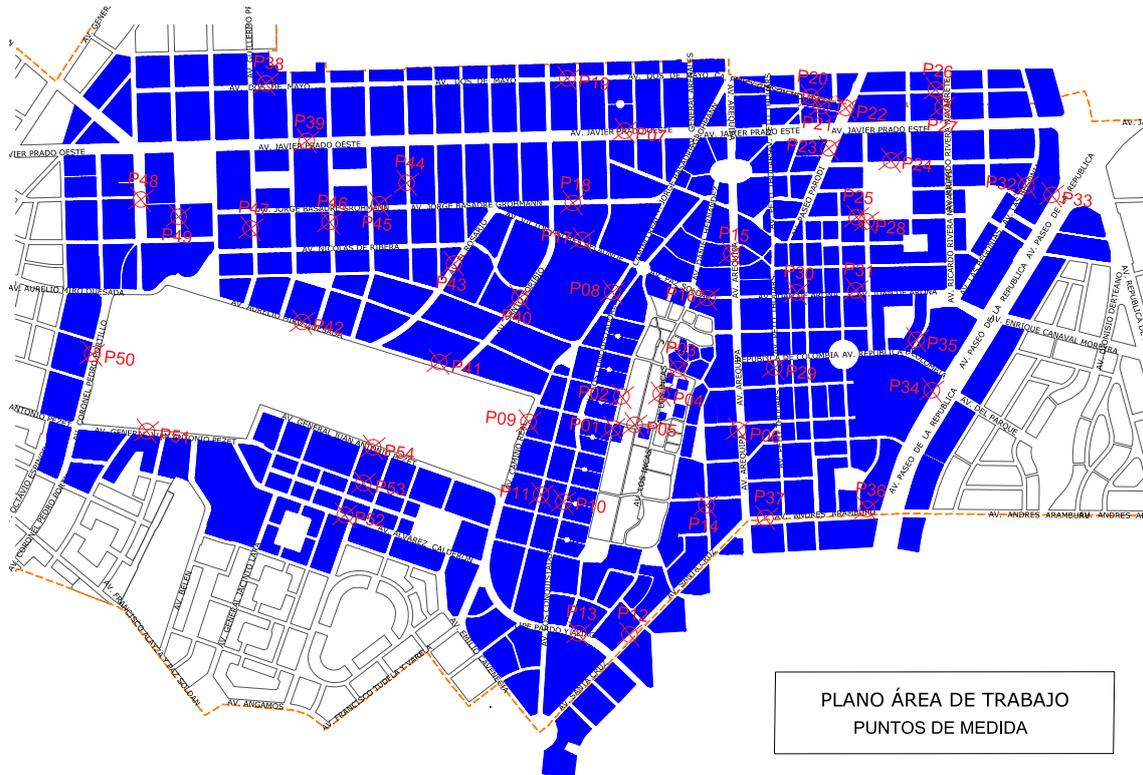


Figura 6.2: Ubicación puntos de medida

6.2.2. Demostración de la persistencia en el tiempo de los niveles de presión sonora, durante el periodo día

Para realizar esta demostración se han seleccionado los siguientes puntos de medición:

- P01, ubicado en la cuarta cuadra de la Ca. La República, junto a la biblioteca del distrito de San Isidro
- P02, ubicado en la segunda cuadra de la Ca. La República
- P03, ubicado en la tercera cuadra de la Av. Choquehuanca
- P04, ubicado en la tercera cuadra de la Av. Los Incas
- P05, ubicado en la Ca. Hermilio Hernández, en el cruce con el pasaje peatonal Constancio Bollar
- P06, ubicado en la cuadra treinta y cinco de la Av. Arequipa
- P07, ubicado en la cuarta cuadra de la Av. Javier Prado
- P08, ubicado en la tercera cuadra de la Av. Camino real

Los puntos P06, P07 y P08, están ubicados en unas vías de alto tránsito, los puntos P01, P02, P03 y P04 de mediano tránsito. Finalmente, el P05 se ubica en una vía de bajo tránsito vehicular.

Estos puntos fueron estudiados durante 5 días (de lunes a viernes de la misma semana), obteniendo así 10 muestras de cada punto (una del horario de mañana y otro en el horario de tarde).

Los resultados en los puntos de este experimento se exponen en la siguiente tabla (Tabla 6.2).

Tabla 6.2: L_{Aeq} en puntos de estudio temporalidad

Punto de medida	Promedio L_{Aeq} (dBA)	Máxima diferencia al promedio
P01	65,2	0,9
P02	64,3	1,4

P03	70,3	1,8
P04	66,6	2,5
P05	61,1	2,2
P06	69,5	1,6
P07	72,2	1,8
P08	70,6	1,1

Estudiamos así su peor caso, la diferencia máxima entre el nivel de ruido registrado en un punto y el promedio de ese mismo punto durante todos los días de entre semana.

Como ninguna muestra supera los 3 dBA de diferencia entre el nivel medido y el promedio de cada punto, conseguimos demostrar que los días de lunes a viernes son acústicamente semejantes, permitiéndonos así que la toma de medidas en cada punto sean consideradas indiferentes al horario y día de entre semana que se midan.

Queda añadir que los valores de los niveles sonoros indicados en las respectivas fichas de medición (*Anexo II: Fichas de puntos medidos*) de estos primeros 8 puntos serán los correspondientes al promedio de todos los valores registrados durante toda la semana y no al valor medido puntualmente como en el resto de puntos.

6.3. Resultados

6.3.1. Resultados de las medidas *in situ*

Se va a proceder a la presentación de los datos resultantes de las mediciones realizadas en cada punto.

Estos datos van a servir como referencia a los que se deben aproximar las simulaciones, es decir, nuestra referencia a la hora de ajustar el modelo de simulación. Son los encargados de validar la simulación.

6.3.1.1. Niveles de presión sonora en los puntos de medida

Se exponen los resultados medidos en cada punto de medición correspondientes al nivel de presión sonora con ponderación A (L_{Aeq}) registrado (ver *Tabla 6.3*).

Tabla 6.3: Niveles medidos en puntos de medida

Punto de medida	Medido L_D (dBA)	Medido L_N (dBA)	Punto de medida	Medido L_D (dBA)	Medido L_N (dBA)
P01	65,2	52,5	P24	67,4	50,8
P02	64,4	50,1	P25	67,2	52,8
P03	70,4	52,7	P26	64,3	46,3
P04	66,7	50,1	P27	71,7	57,1
P05	61,3	41,0	P28	69,3	46,3
P06	69,6	66,5	P29	70,4	64,1
P07	72,3	70,3	P30	70,9	-
P08	70,6	60,3	P31	70,8	66,4
P09	69,7	61,1	P32	68,3	57,8
P10	63,3	54,5	P33	71,7	63,3
P11	68,8	61,1	P34	73,4	63,8
P12	67,5	56,7	P35	68,2	53,2
P13	71,2	65,6	P36	71,2	71,4
P14	64,8	52,4	P37	61,3	-
P15	69,9	-	P38	70,3	58,3
P16	71,6	64,4	P39	72,9	71,5
P17	66,1	60,8	P40	65,4	58,1
P18	67,3	59,5	P41	70,6	-
P19	64,3	56,4	P42	71,2	63,3
P20	66,3	55,3	P43	61,2	51,2
P21	60,9	51,1	P44	64,5	49,9
P22	74,7	61,6	P45	70,9	61,4
P23	68,1	56,9	P46	59,7	47,2

P47	64,8	47,5	P51	75,0	64,5
P48	58,8	-	P52	67,2	49,5
P49	62,3	48,5	P53	66,5	51,7
P50	70,2	63,0	P54	63,0	50,3

Los datos presentados sin información, son porque corresponden a puntos que comparten las mismas vías que otros, y por la noche, en ambos puntos, se obtienen valores equivalentes.

Tomando como referencia un estudio ya realizado en la ciudad de Lima [14], podemos observar como en la ciudad de Lima, el nivel de presión sonora con ponderación A (L_{Aeq}) en periodo tarde, corresponde a un promedio de 2 dBA inferior respecto al nivel de presión sonora con ponderación A (L_{Aeq}) en el periodo día, por tanto es factible usar dicho dato como referencia y así poder decir que el nivel de presión sonora con ponderación A (L_{Aeq}) de periodo tarde en nuestras mediciones es equivalente al nivel de presión sonora con ponderación A (L_{Aeq}) del periodo día con una disminución de 2 dBA.

Entonces, nuestros resultados experimentales van a quedar de la siguiente manera (ver *Tabla 6.4*). Van a ser usados para referenciarlos en el ajuste de los datos simulados y poderlos comparar posteriormente.

Tabla 6.4: Niveles en puntos de medida (Periodos completos)

Punto de medida	Medido L_D (dBA)	“Predicho” L_E (dBA)	Medido L_N (dBA)	Punto de medida	Medido L_D (dBA)	“Predicho” L_E (dBA)	Medido L_N (dBA)
P01	65,2	63,2	52,5	P28	69,3	67,3	46,3
P02	64,4	62,4	50,1	P29	70,4	68,4	64,1
P03	70,4	68,4	52,7	P30	70,9	68,9	66,4
P04	66,7	64,7	50,1	P31	70,8	68,8	66,4
P05	61,3	59,3	41,0	P32	68,3	66,3	57,8
P06	69,6	67,6	66,5	P33	71,7	69,7	63,3
P07	72,3	70,3	70,3	P34	73,4	71,4	63,8
P08	70,6	68,6	60,3	P35	68,2	66,2	53,2
P09	69,7	67,7	61,1	P36	71,2	69,2	71,4
P10	63,3	61,3	54,5	P37	61,3	59,3	71,4
P11	68,8	66,8	61,1	P38	70,3	68,3	58,3
P12	67,5	65,5	56,7	P39	72,9	70,9	71,5
P13	71,2	69,2	65,6	P40	65,4	63,4	58,1
P14	64,8	62,8	52,4	P41	70,6	68,6	63,3
P15	69,9	67,9	66,5	P42	71,2	69,2	63,3
P16	71,6	69,6	64,4	P43	61,2	59,2	51,2
P17	66,1	64,1	60,8	P44	64,5	62,5	49,9
P18	67,3	65,3	59,5	P45	70,9	68,9	61,4
P19	64,3	62,3	56,4	P46	59,7	57,7	47,2
P20	66,3	64,3	55,3	P47	64,8	62,8	47,5
P21	60,9	58,9	51,1	P48	58,8	56,8	41,3
P22	74,7	72,7	61,6	P49	62,3	60,3	48,5
P23	68,1	66,1	56,9	P50	70,2	68,2	63,0
P24	67,4	65,4	50,8	P51	75,0	73,0	64,5
P25	67,2	65,2	52,8	P52	67,2	65,2	49,5
P26	64,3	62,3	46,3	P53	66,5	64,5	51,7
P27	71,7	69,7	57,1	P54	63,0	61,0	50,3

Con los resultados anteriores se puede calcular el nivel de presión sonora en ponderación A equivalente al periodo día-tarde-noche (L_{den}) medido usando la *ecuación (3)* [definida en el apartado 3.4.7 de este mismo documento].

Tabla 6.5: Nivel L_{den} en cada punto medido

Punto de medida	L_{den} (dBA)	Punto de medida	L_{den} (dBA)	Punto de medida	L_{den} (dBA)
P01	63,1	P05	59,1	P09	67,8
P02	62,3	P06	68,5	P10	61,4
P03	68,3	P07	71,4	P11	67,0
P04	64,6	P08	68,6	P12	65,5

P13	69,6	P27	69,6	P41	68,8
P14	62,8	P28	67,1	P42	69,4
P15	68,7	P29	68,7	P43	59,3
P16	69,9	P30	69,5	P44	62,4
P17	64,6	P31	69,4	P45	69,0
P18	65,5	P32	66,3	P46	57,7
P19	62,5	P33	69,9	P47	62,7
P20	64,3	P34	71,5	P48	56,7
P21	59,0	P35	66,1	P49	60,2
P22	72,6	P36	71,0	P50	68,5
P23	66,1	P37	67,3	P51	73,0
P24	65,3	P38	68,3	P52	65,1
P25	65,1	P39	72,2	P53	64,4
P26	62,2	P40	63,6	P54	60,9

Este valor lo usaremos para compararlo con el predicho por el *software B&K Predictor-LimA*

6.3.1.2. Caudal de tráfico rodado en las vías medidas

En las siguientes tablas (*Tabla 6.6 y Tabla 6.7*) se exponen los resultados en los puntos de medición correspondientes al nivel flujo de tráfico rodado contabilizado en cada punto.

Dónde Q representa los flujos vehiculares ligeros/pesados para los siguientes periodos:

- Q_{DI} Flujo vehicular ligero periodo día por hora
- Q_{DP} Flujo vehicular pesado periodo día por hora
- Q_{NI} Flujo vehicular ligero periodo noche por hora
- Q_{NP} Flujo vehicular pesado periodo noche por hora

Tabla 6.6: Caudal de tráfico rodado en vías medidas

Punto de medida	Descripción	Sentido	Periodo día		Periodo noche	
			Q_{DI}	Q_{DP}	Q_{NI}	Q_{NP}
P01	Ca. La República, 426		526	4	27	0
P02	Ca. La República, 272		447	5	15	1
P03	Av. Choquehuanca, 390		1352	14	36	0
P04	Av. Los Incas, 355		880	8	9	1
P05	Ca. Hermilio Hernández con Paseo Constancio Bollar		373	3	4	0
P06	Av. Arequipa, 3520	Norte	1050	54	308	30
		Sur	1206	67	350	26
		Oeste	2376	101	768	23
P07	Av. Javier Prado, 445	Este	958	132	815	30
			1616	63	149	2
			1698	54	324	0
P08	Av. Camino Real, 355		462	0	36	0
P09	Av. Camino Real, 751		1698	54	156	0
P10	Ca. Los Libertadores, 569		228	6	21	0
P11	Av. Los Conquistadores, 750	Oeste	816	12	15	3
			925	15	54	6
P12	Av. Pardo y Aliaga, 330	Norte-Oeste	810	20	66	0
		Sur-Oeste	468	0	15	0
P13	Ca. Prolongación Arenales, 420		1062	54	-	-
P14	Av. Arequipa, 3030	Norte	1284	36	-	-
		Sur	2256	6	324	4
P15	Av. Paz Soldán, 115		1512	0	320	1
P16	Ca. Víctor Andrés de la hunde, 214		480	12	24	0
P17	Av. Jorge Basadre, 536	Oeste	1020	0	120	0
		Este	522	0	60	0
P18	Av. Dos de mayo, 649		222	0	60	0
P19	Ca. Percy Gibson, 320	Ambos	42	6	4	0
P20	Ca. Virrey Abascal, 259		510	66	36	0
P21	Av. Paseo Parodi, cdra.1	Norte	1254	180	72	0
		Sur	324	18	0	0
P22	Av. Paseo Parodi, 387	Norte	456	18	36	0
		Sur	984	12	28	0
P23	Ca. Amador Merido Reyna, 285		522	0	8	0
P24	Ca. Las Camelias, 452	Norte	576	0	12	0
P25	Ca. Los Geranios, 258	Sur	438	6	4	0

P27	Av. Ricardo Rivera Navarrete, 2868		1782	18	12	0
P28	Ca. Coronel Andrés Reyes, 256		1284	0	4	0
P29	Av. Petit Thouars, 3728		1344	0	252	6
P30	Av. Juan de Arona, 305		1506	18	-	-
P31	Av. Juan de Arona, 670		1476	24	306	6
P32	Ca. Las Begonias, 459		756	24	100	0
P33	Av. Paseo de la República, 3050		444	60	90	0
P34	Av. Paseo de la República, 3530		1218	36	66	0
P35	Ca. Augusto Tamayo, 180		1290	24	30	0
P36	Av. Andrés Aramburú, 365	Oeste	1428	24	-	-
		Este	1800	0	-	-
P37	Av. Andrés Aramburú, 181	Oeste	726	12	100	0
		Este	750	0	84	0
P38	Av. Dos de mayo, 1574		815	50	80	0
P39	Av. Javier Pardo Oeste, 1440	Oeste	1434	102	780	4
		Este	2106	120	1004	4
P40	Ca. Santo Toribio, 210	Norte	396	0	72	0
		Sur	420	0	88	0
P41	Av. Aurelio Miró Quezada, 250	Oeste	306	0	-	-
		Este	1278	6	-	-
P42	Av. Aurelio Miró Quezada, 540	Oeste	558	0	104	0
		Este	1236	6	208	0
P43	Ca. Los Rosarios, 260	Norte	102	0	9	0
		Sur	246	6	12	0
P44	Ca. Los Robles, 354		234	12	6	0
P45	Av. Jorge Basadre, 1175	Oeste	264	0	100	0
		Este	1332	0	28	0
P46	Ca. Los Nogales, 444		156	0	3	0
P47	Ca. Las Flores, 435	Ambos	726	0	12	0
P48	Ca. Carlos Porras Ososres, 424		90	12	0	0
P49	Ca. Los Castaños, 410	Norte	216	0	3	0
		Sur	264	0	18	0
P50	Av. Portillo, 220	Norte	1320	6	152	0
		Sur	672	6	60	0
P51	Av. General Juan Antonio Pezet, 1165	Oeste	900	30	72	0
		Este	1062	30	52	0
P52	Av. Álvarez Calderón, 530		684	12	40	0
P53	Av. Miguel Cervantes, 440		606	12	20	0
P54	Av. General Juan Antonio Pezet, 440		324	6	24	0

Los datos presentados sin información, son porque corresponden a puntos que comparten las mismas vías que otros, y por la noche, en ambos puntos, se obtienen valores equivalentes.

Adicionalmente, se ha verificado, en otros 13 puntos del distrito de San Isidro (sector 5), que el flujo de tráfico vehicular en periodo vespertino presenta una reducción del 5% del tráfico ligero y una disminución del 30% del tráfico pesado (en promedio) respecto al registrado en el periodo diurno.

Con estos datos, nuestros resultados “medidos” van a quedar de la siguiente manera. Estos datos nos servirán para apoyarnos en ellos para el ajuste de los datos simulados y poderlos comparar posteriormente.

Dónde:

Q_{EI} Flujo vehicular ligero periodo tarde por hora

Q_{Ep} Flujo vehicular pesado periodo tarde por hora

Tabla 6.7: Caudal de tráfico rodado en vías medidas (Periodos completos)

Punto de medida	Descripción	Sentido	Periodo día		Periodo tarde		Periodo noche	
			Q_{DI}	Q_{DP}	Q_{EI}	Q_{Ep}	Q_{NI}	Q_{Np}
P01	Ca. La República, 426		526	4	500	3	27	0
P02	Ca. La República, 272		447	5	425	3	15	1
P03	Av. Choquehuanca, 390		1352	14	1284	10	36	0
P04	Av. Los Incas, 355		880	8	836	6	9	1
P05	Ca. Hermilio Hernández con Paseo Constancio Bollar		373	3	355	2	4	0
P06	Av. Arequipa, 3520	Norte	1050	54	997	38	308	30
		Sur	1206	67	1145	47	350	26
P07	Av. Javier Prado, 445	Oeste	2376	101	2257	71	768	23

"Servicio de levantamiento de información de la contaminación sonora en áreas específicas a través de la elaboración de mapas sonoros estratégicos y el análisis subjetivo en el distrito de San Isidro de la ciudad de Lima (Perú)"

		Este	958	132	910	92	815	30
P08	Av. Camino Real, 355		1616	63	1535	44	149	2
P09	Av. Camino Real, 751		1698	54	1613	38	324	0
P10	Ca. Los Libertadores, 569		462	0	439	0	36	0
P11	Av. Los Conquistadores, 750		1698	54	1613	38	156	0
P12	Av. Pardo y Aliaga, 330	Oeste	228	6	217	4	21	0
		Este	816	12	775	8	15	3
P13	Av. Sta. Cruz, 352	Norte-Oeste	925	15	879	11	54	6
		Sur-Oeste	810	20	770	14	66	0
P14	Ca. Prolongación Arenales, 420		468	0	445	0	15	0
P15	Av. Arequipa, 3030	Norte	1062	54	1009	38	308	30
		Sur	1284	36	1220	25	350	26
P16	Av. Paz Soldán, 115		2256	6	2143	4	324	4
P17	Ca. Víctor Andrés de la hunde, 214		1512	0	1436	0	320	1
P18	Av. Jorge Basadre, 536	Oeste	480	12	456	8	24	0
		Este	1020	0	969	0	120	0
P19	Av. Dos de mayo, 649		522	0	496	0	60	0
P20	Ca. Percey Gibson, 320	Ambos	222	0	211	0	60	0
P21	Ca. Virrey Abascal, 259		42	6	40	4	4	0
P22	Av. Paseo Parodi, cdra.1	Norte	510	66	485	46	36	0
		Sur	1254	180	1191	126	72	0
P23	Av. Paseo Parodi, 387	Norte	324	18	308	13	0	0
		Sur	456	18	433	13	36	0
P24	Ca. Amador Merido Reyna, 285		984	12	935	8	28	0
P25	Ca. Las Camelias, 452	Norte	522	0	496	0	8	0
		Sur	576	0	547	0	12	0
P26	Ca. Los Geranios, 258		438	6	416	4	4	0
P27	Av. Ricardo Rivera Navarrete, 2868		1782	18	1693	13	12	0
P28	Ca. Coronel Andrés Reyes, 256		1284	0	1220	0	4	0
P29	Av. Petit Thouars, 3728		1344	0	1277	0	252	6
P30	Av. Juan de Arona, 305		1506	18	1431	13	306	6
P31	Av. Juan de Arona, 670		1476	24	1402	17	306	6
P32	Ca. Las Begonias, 459		756	24	718	17	100	0
P33	Av. Paseo de la República, 3050		444	60	422	42	90	0
P34	Av. Paseo de la República, 3530		1218	36	1157	25	66	0
P35	Ca. Augusto Tamayo, 180		1290	24	1226	17	30	0
P36	Av. Andrés Aramburú, 365	Oeste	1428	24	1357	17	100	0
		Este	1800	0	1710	0	84	0
P37	Av. Andrés Aramburú, 181	Oeste	726	12	690	8	100	0
		Este	750	0	713	0	84	0
P38	Av. Dos de mayo, 1574		815	50	774	35	80	0
P39	Av. Javier Pardo Oeste, 1440	Oeste	1434	102	1362	71	780	4
		Este	2106	120	2001	84	1004	4
P40	Ca. Santo Toribio, 210	Norte	396	0	376	0	72	0
		Sur	420	0	399	0	88	0
P41	Av. Aurelio Miró Quezada, 250	Oeste	306	0	291	0	104	0
		Este	1278	6	1214	4	208	0
P42	Av. Aurelio Miró Quezada, 540	Oeste	558	0	530	0	104	0
		Este	1236	6	1174	4	208	0
P43	Ca. Los Rosarios, 260	Norte	102	0	97	0	9	0
		Sur	246	6	234	4	12	0
P44	Ca. Los Robles, 354		234	12	222	8	6	0
P45	Av. Jorge Basadre, 1175	Oeste	264	0	251	0	100	0
		Este	1332	0	1265	0	28	0
P46	Ca. Los Nogales, 444		156	0	148	0	3	0
P47	Ca. Las Flores, 435	Ambos	726	0	690	0	12	0
P48	Ca. Carlos Porras Osore, 424		90	12	86	8	0	0
P49	Ca. Los Castaños, 410	Norte	216	0	205	0	3	0
		Sur	264	0	251	0	18	0
P50	Av. Portillo, 220	Norte	1320	6	1254	4	152	0
		Sur	672	6	638	4	60	0
P51	Av. General Juan Antonio Pezet, 1165	Oeste	900	30	855	21	72	0
		Este	1062	30	1009	21	52	0
P52	Av. Álvarez Calderón, 530		684	12	650	8	40	0
P53	Av. Miguel Cervantes, 440		606	12	576	8	20	0
P54	Av. General Juan Antonio Pezet, 440		324	6	308	4	24	0

6.3.2. Resultados predictivos

A continuación se van a exponer los Mapas Estratégicos de Ruido de la zona seleccionada para este trabajo perteneciente al distrito de San Isidro.

Se han realizado mediante los dos *softwares* de simulación ya nombrados durante el trabajo, *OpeNoise* i *Predictor-LimA*.

Para cada *software* hemos realizado las simulaciones correspondientes a los tres periodos del día, y adicionalmente *Predictor-LimA* nos simula el nivel de presión sonora día-tarde-noche (L_{den}), el cual también presentamos sus valores.

6.3.2.1. Mapas de ruido obtenidos con *opeNoise*

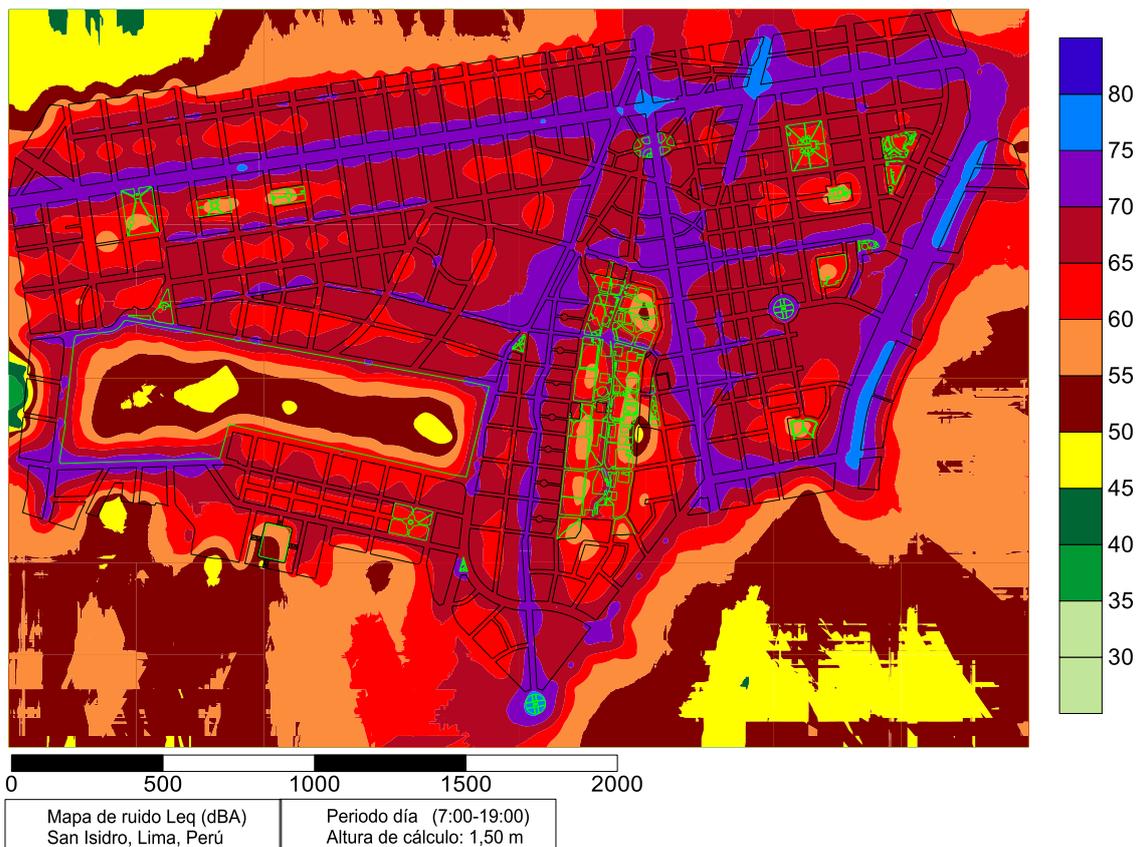


Figura 6.3: MER periodo día *opeNoise* (graficado con *Surfer10*)

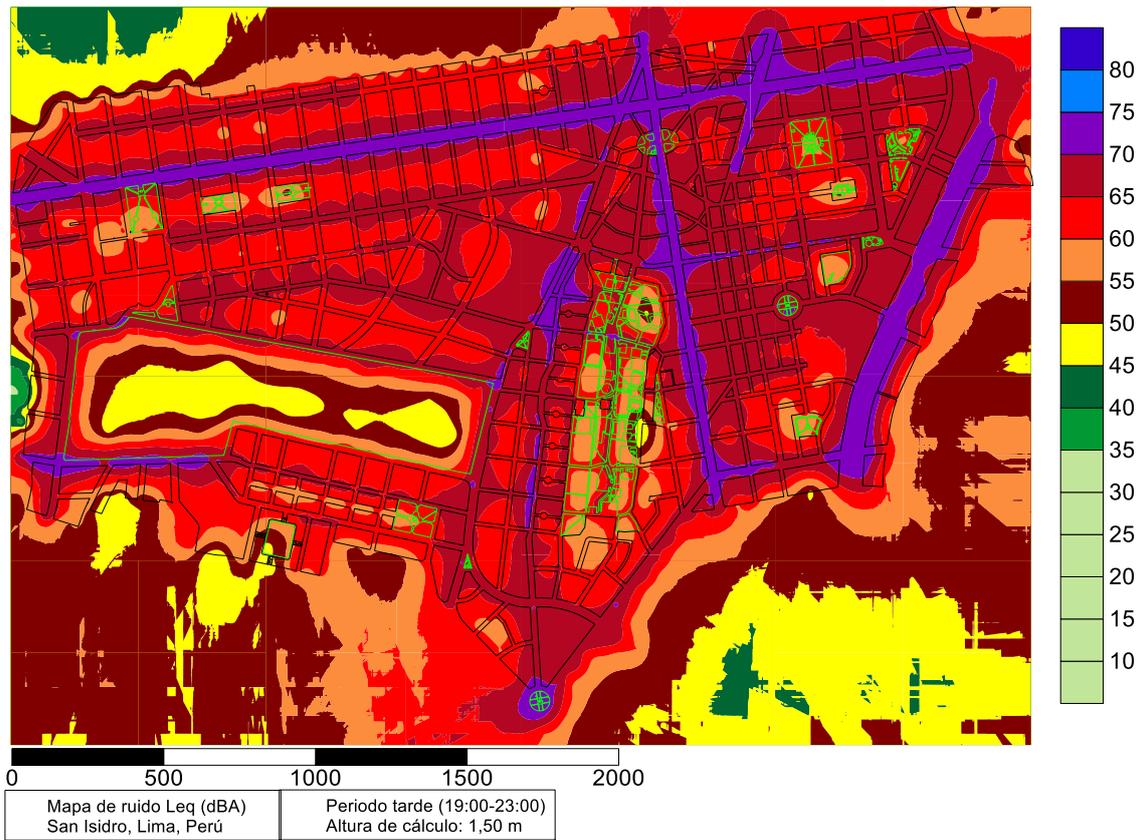


Figura 6.4: MER periodo tarde opeNoise (graficado con Surfer10)

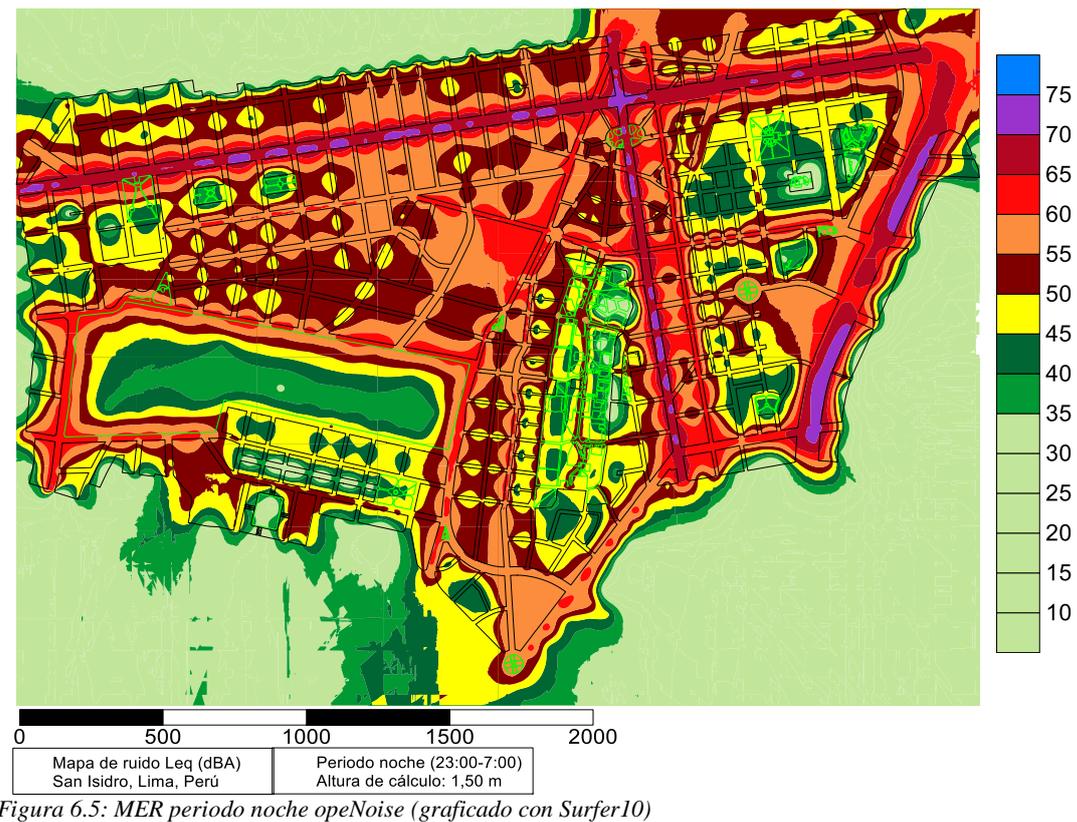


Figura 6.5: MER periodo noche opeNoise (graficado con Surfer10)

6.3.2.2. Mapas de ruido obtenidos con Predictor-LimA

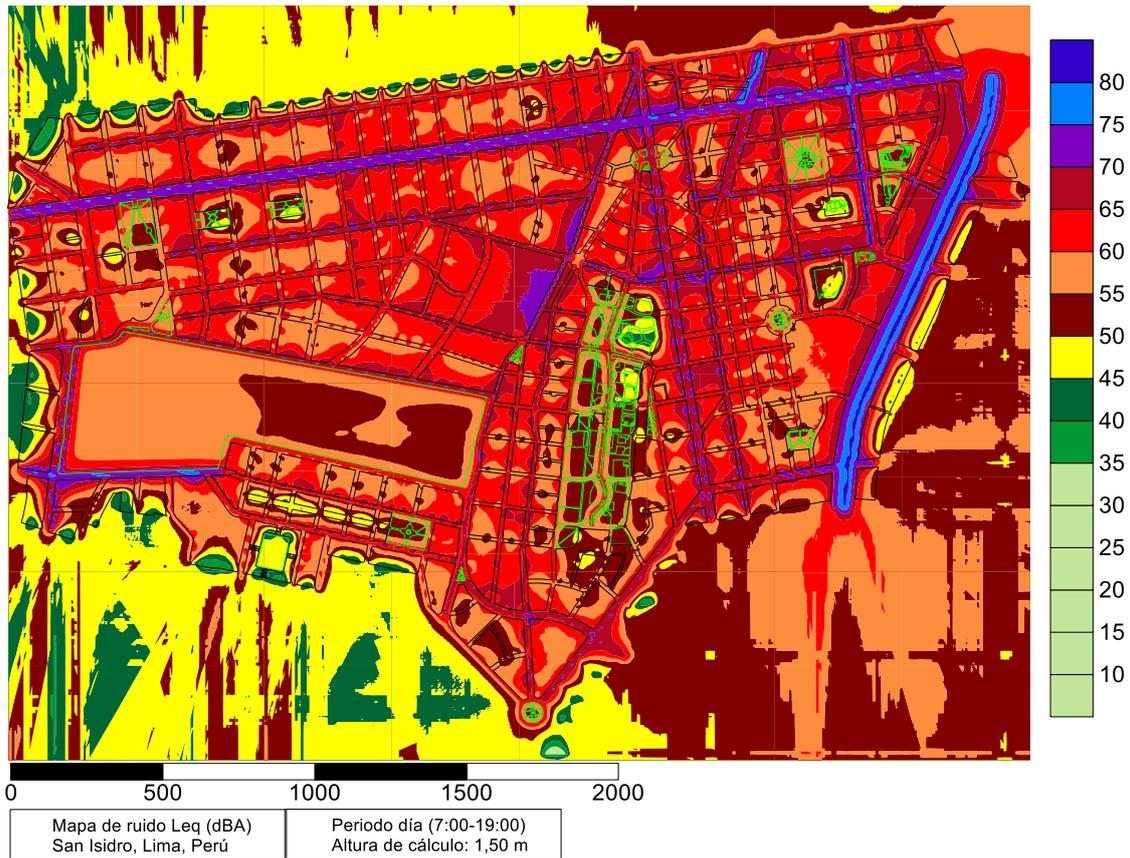


Figura 6.6: MER periodo día Predictor-LimA (graficado con Surfer10)

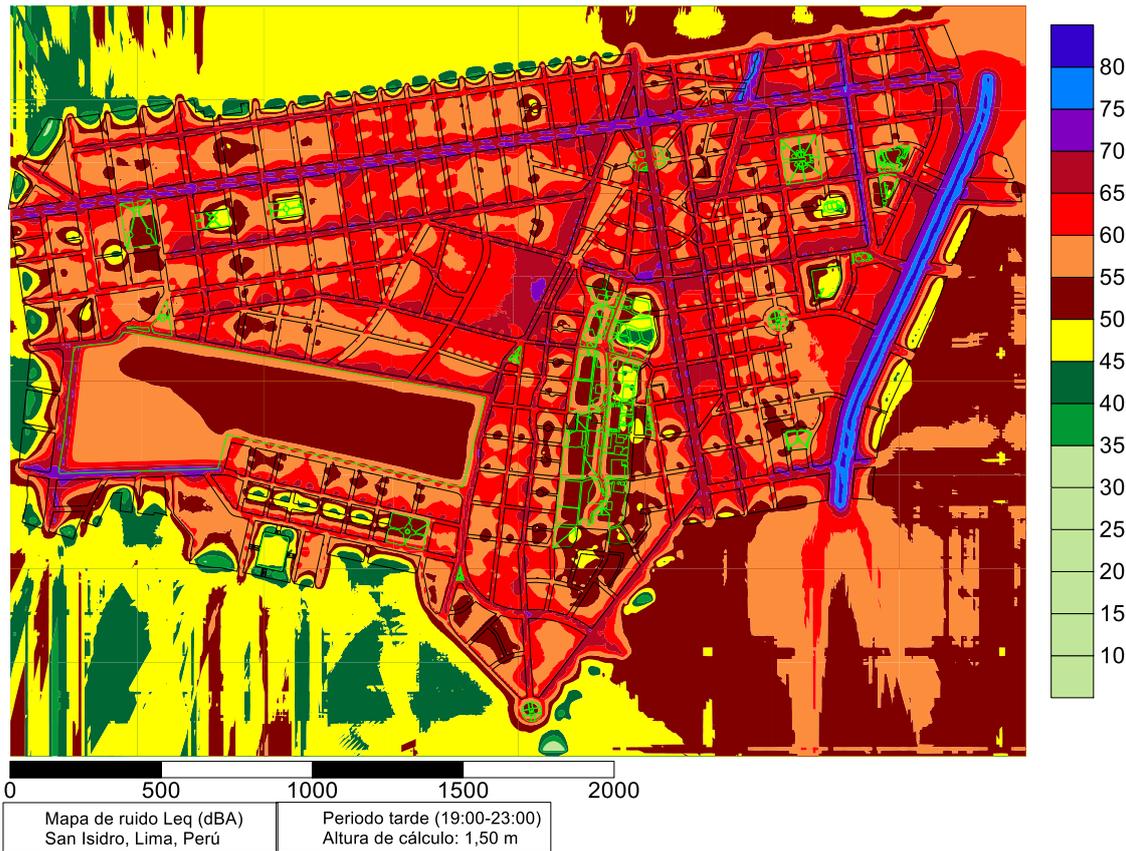


Figura 6.7: MER periodo tarde Predictor-LimA (graficado con Surfer10)

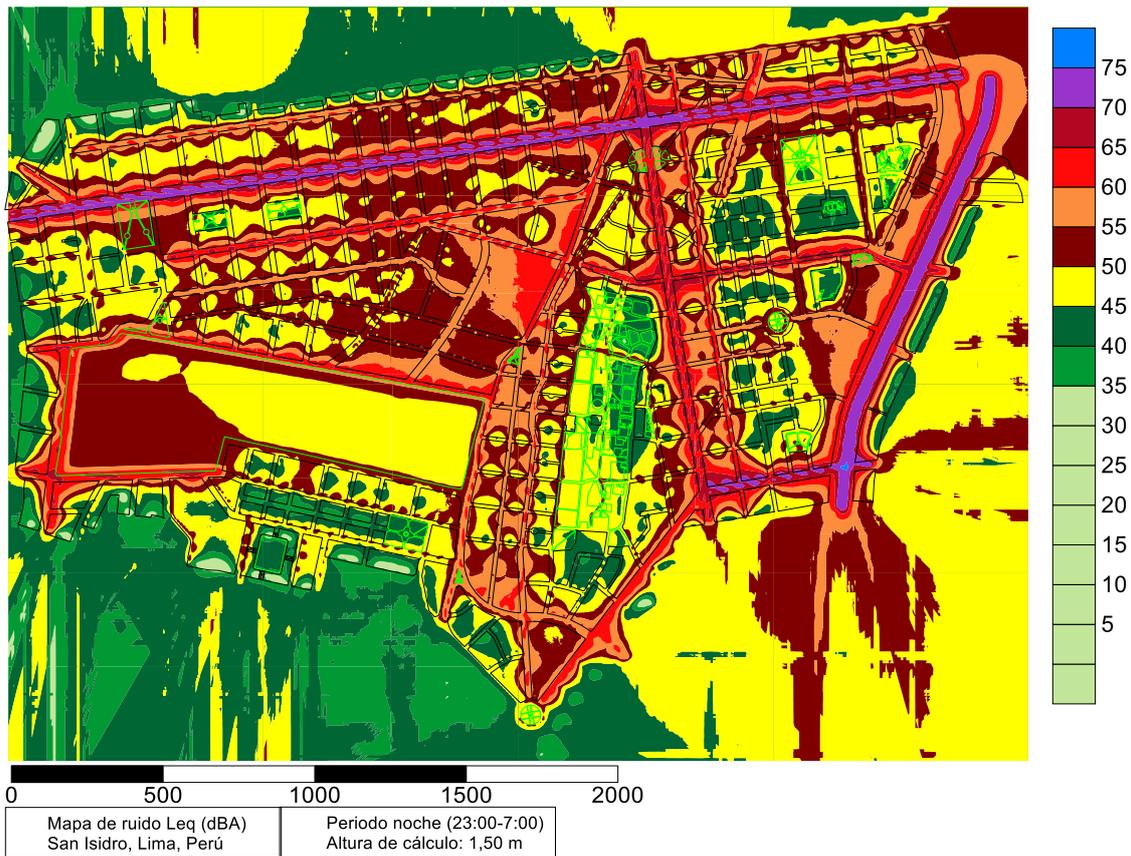


Figura 6.8: MER periodo noche Predictor-LimA (graficado con Surfer10)

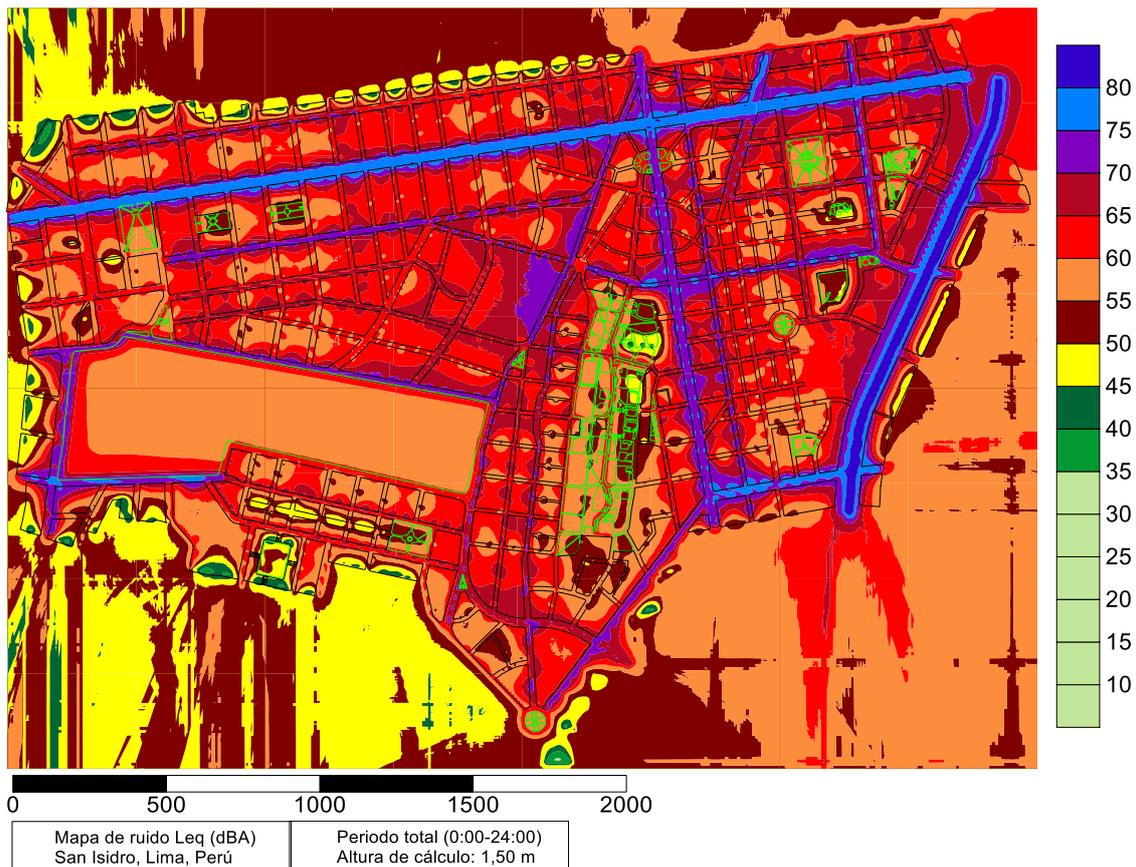


Figura 6.9: MER L_{den} Predictor-LimA (graficado con Surfer10)

Con la finalidad de observar realmente los resultados que podemos obtener del *Predictor-LimA*, a continuación vamos a presentar los mismos mapas que genera el propio *software* (que *opeNoise* como tal no representa).

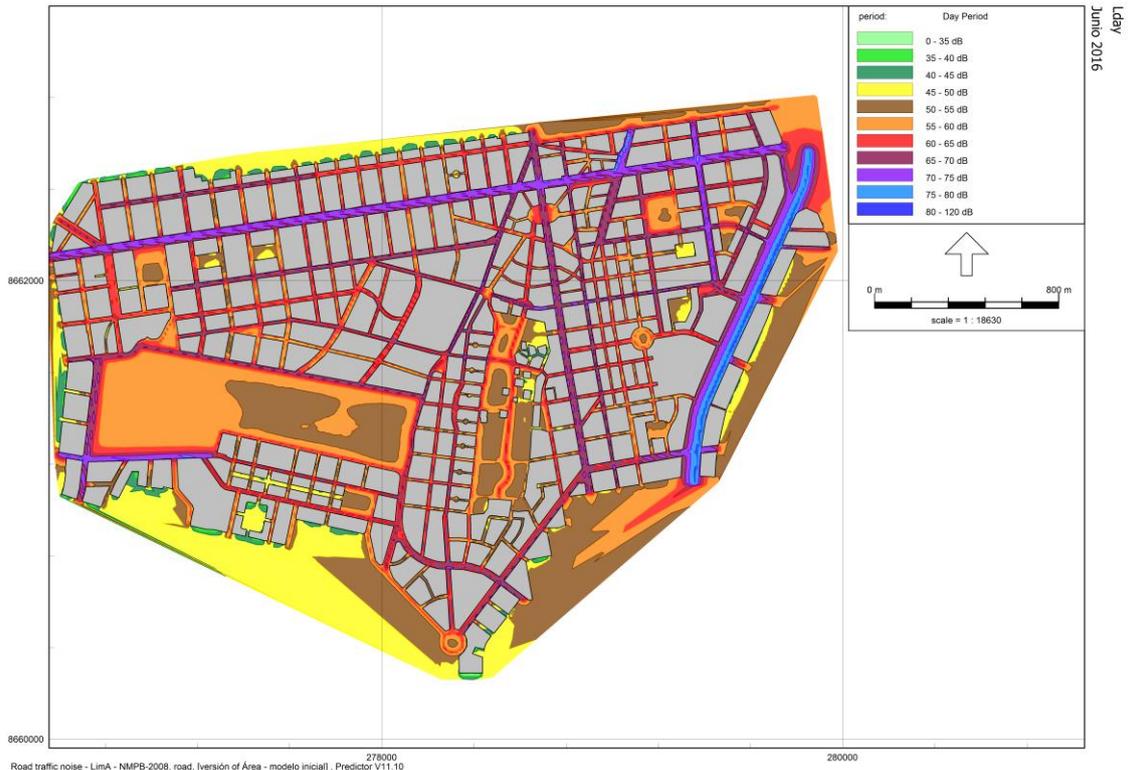


Figura 6.10: MER periodo día Predictor-LimA



Figura 6.11: MER periodo tarde Predictor-LimA



Figura 6.12: MER periodo noche Predictor-Lima



Figura 6.13: MER Lden Predictor-Lima

6.3.3. Comparación entre los resultados experimentales y predictivos

A continuación mostraremos los gráficos (ver desde la Figura 6.14 a Figura 6.20) correspondientes a cada periodo con la comparación entre los niveles obtenidos mediante la simulación con cada *software* (líneas discontinuas) y los obtenidos experimentalmente medidos en cada punto (líneas continuas).

Se adjuntará también una tabla con los valores comparados, remarcando los casos en que se superen, en valor absoluto, los 3 dB de diferencia entre valores experimentales y valores predictivos.

6.3.3.1. Comparación opeNoise

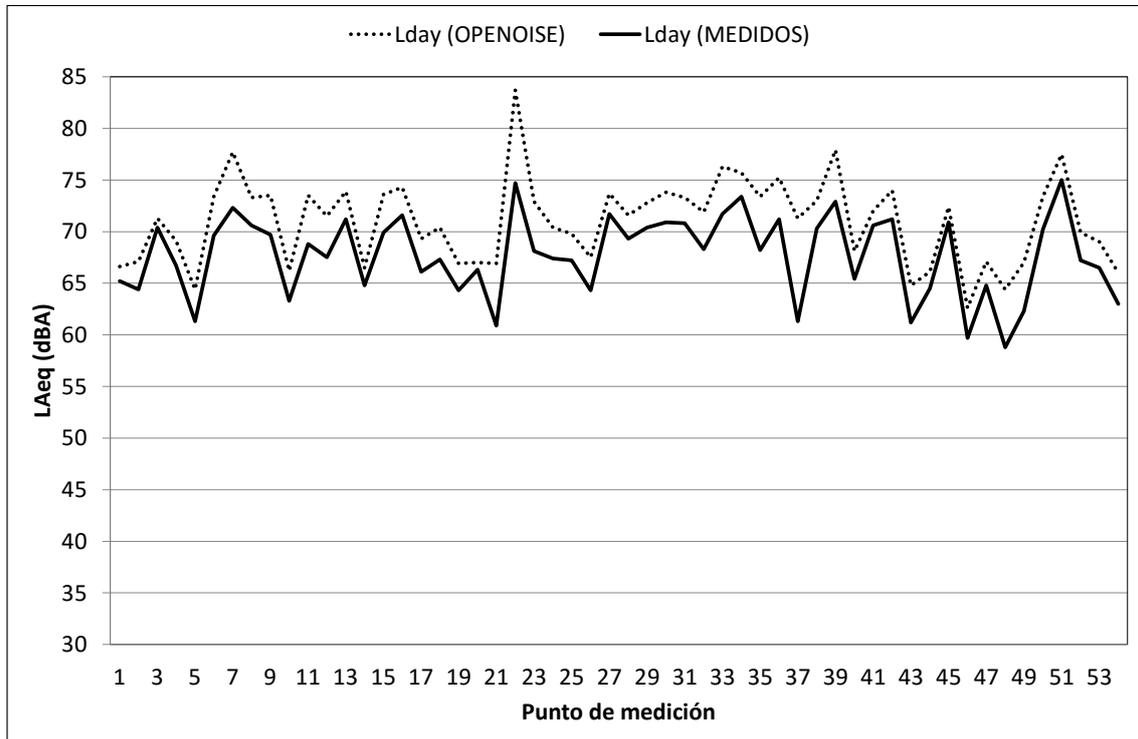


Figura 6.14: Comparación valores medidos vs predichos por opeNoise en periodo día

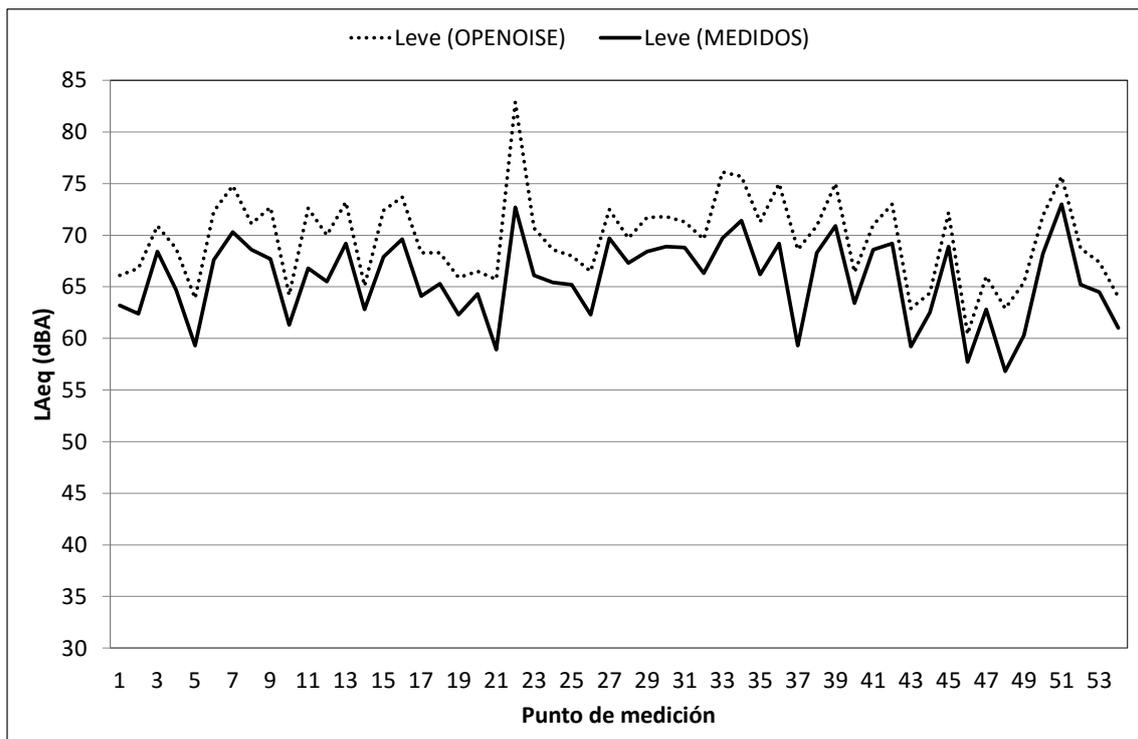


Figura 6.15: Comparación valores medidos vs predichos por opeNoise en periodo tarde

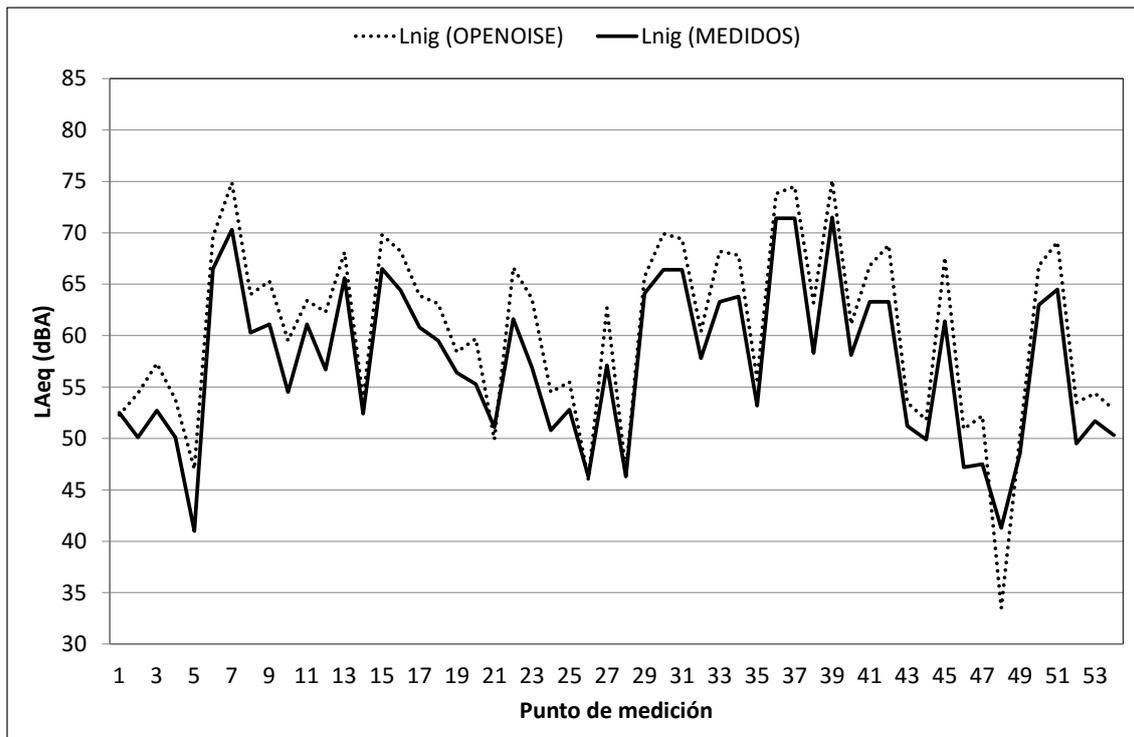


Figura 6.16: Comparación valores medidos vs predichos por openoise en periodo noche

Los valores que se exponen a continuación (en la Tabla 6.8) se encuentran en decibelios con ponderación A (dBA).

Tabla 6.8: Diferencia valores medidos vs predichos por openoise

Punto de medida	Niveles medidos (dBA)			Diferencia (dBA)			Niveles simulados (dBA)		
	L _{día}	L _{tarde}	L _{noche}	D _{día}	D _{tarde}	D _{noche}	L _{día}	L _{tarde}	L _{noche}
P01	65,2	63,2	52,5	1,4	2,9	0,2	66,6	66,1	52,3
P02	64,4	62,4	50,1	2,7	4,4	4,3	67,1	66,8	54,4
P03	70,4	68,4	52,7	0,9	2,5	4,6	71,3	70,9	57,3
P04	66,7	64,7	50,1	2,4	4,0	3,7	69,1	68,7	53,8
P05	61,3	59,3	41,0	3,1	4,6	6,0	64,4	63,9	47
P06	69,6	67,6	66,5	3,8	4,7	3,1	73,4	72,3	69,6
P07	72,3	70,3	70,3	5,4	4,5	4,6	77,7	74,8	74,9
P08	70,6	68,6	60,3	2,7	2,5	3,7	73,3	71,1	64
P09	69,7	67,7	61,1	3,8	5,0	4,2	73,5	72,7	65,3
P10	63,3	61,3	54,5	2,9	2,9	5,0	66,2	64,2	59,5
P11	68,8	66,8	61,1	4,7	5,8	2,3	73,5	72,6	63,4
P12	67,5	65,5	56,7	4,0	4,5	5,6	71,5	70	62,3
P13	71,2	69,2	65,6	2,7	4,0	2,5	73,9	73,2	68,1
P14	64,8	62,8	52,4	1,7	2,3	1,3	66,5	65,1	53,7
P15	69,9	67,9	66,5	3,7	4,5	3,3	73,6	72,4	69,8
P16	71,6	69,6	64,4	2,7	4,1	3,8	74,3	73,7	68,2
P17	66,1	64,1	60,8	3,2	4,2	3,1	69,3	68,3	63,9
P18	67,3	65,3	59,5	3,1	3,0	3,6	70,4	68,3	63,1
P19	64,3	62,3	56,4	2,6	3,6	2,0	66,9	65,9	58,4
P20	66,3	64,3	55,3	0,7	2,2	4,4	67	66,5	59,7
P21	60,9	58,9	51,1	6,0	6,8	1,2	66,9	65,7	49,9
P22	74,7	72,7	61,6	9,0	10,2	5,0	83,7	82,9	66,6
P23	68,1	66,1	56,9	4,8	4,6	6,7	72,9	70,7	63,6
P24	67,4	65,4	50,8	3,0	3,2	3,7	70,4	68,6	54,5
P25	67,2	65,2	52,8	2,6	2,8	2,7	69,8	68	55,5
P26	64,3	62,3	46,3	3,2	4,2	0,3	67,5	66,5	46
P27	71,7	69,7	57,1	2,0	2,8	5,6	73,7	72,5	62,7
P28	69,3	67,3	46,3	2,3	2,4	0,5	71,6	69,7	46,8
P29	70,4	68,4	64,1	2,4	3,3	1,6	72,8	71,7	65,7
P30	70,9	68,9	66,4	2,9	2,9	3,5	73,8	71,8	69,9

P31	70,8	68,8	66,4	2,5	2,5	3,0	73,3	71,3	69,4
P32	68,3	66,3	57,8	3,6	3,3	2,6	71,9	69,6	60,4
P33	71,7	69,7	63,3	4,6	6,4	4,9	76,3	76,1	68,2
P34	73,4	71,4	63,8	2,3	4,3	4,0	75,7	75,7	67,8
P35	68,2	66,2	53,2	5,2	5,1	2,5	73,4	71,3	55,7
P36	71,2	69,2	71,4	4,0	5,8	2,4	75,2	75	73,8
P37	61,3	59,3	71,4	10,0	9,3	3,1	71,3	68,6	74,5
P38	70,3	68,3	58,3	2,7	2,6	4,9	73	70,9	63,2
P39	72,9	70,9	71,5	5,0	4,1	3,6	77,9	75	75,1
P40	65,4	63,4	58,1	2,7	3,0	3,0	68,1	66,4	61,1
P41	70,6	68,6	63,3	1,4	2,4	3,5	72	71	66,8
P42	71,2	69,2	63,3	2,8	3,8	5,5	74	73	68,8
P43	61,2	59,2	51,2	3,6	3,7	2,3	64,8	62,9	53,5
P44	64,5	62,5	49,9	1,6	1,9	1,9	66,1	64,4	51,8
P45	70,9	68,9	61,4	1,5	3,3	6,2	72,4	72,2	67,6
P46	59,7	57,7	47,2	2,9	2,7	3,7	62,6	60,4	50,9
P47	64,8	62,8	47,5	2,3	3,2	4,7	67,1	66	52,2
P48	58,8	56,8	41,3	5,6	6,1	7,8	64,4	62,9	33,5
P49	62,3	60,3	48,5	4,7	5,1	1,6	67	65,4	50,1
P50	70,2	68,2	63,0	3,2	3,7	3,8	73,4	71,9	66,8
P51	75,0	73,0	64,5	2,5	2,7	4,6	77,5	75,7	69,1
P52	67,2	65,2	49,5	2,7	3,5	4,0	69,9	68,7	53,5
P53	66,5	64,5	51,7	2,5	2,9	2,7	69	67,4	54,4
P54	63,0	61,0	50,3	3,0	3,0	2,5	66	64	52,8

6.3.3.2. Comparación Predictor-Lima

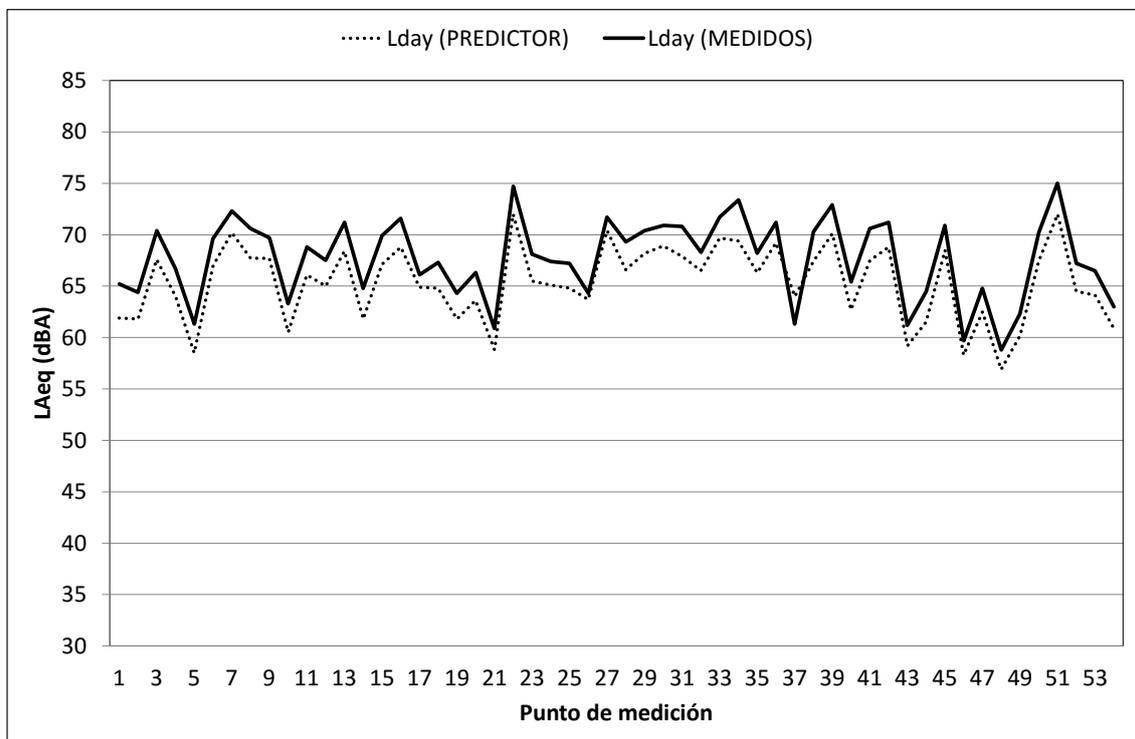


Figura 6.17: Comparación valores medidos vs predichos por Predictor-Lima en periodo día

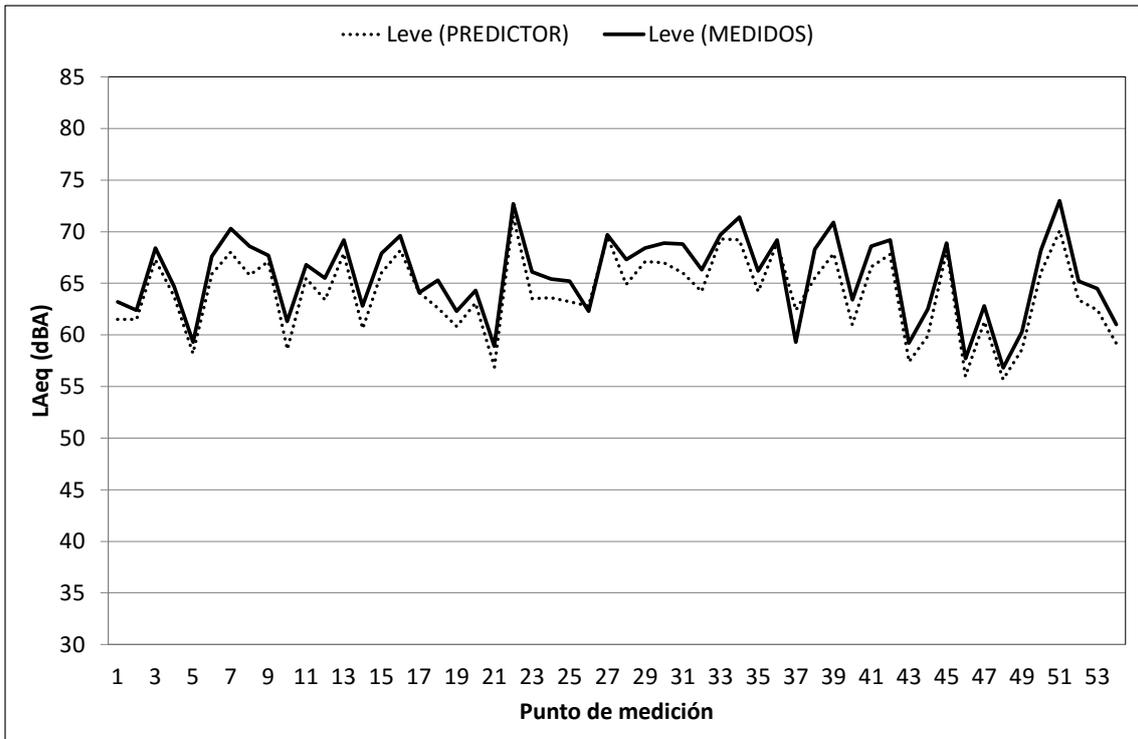


Figura 6.18: Comparación valores medidos vs predichos por Predictor-LimA en periodo tarde

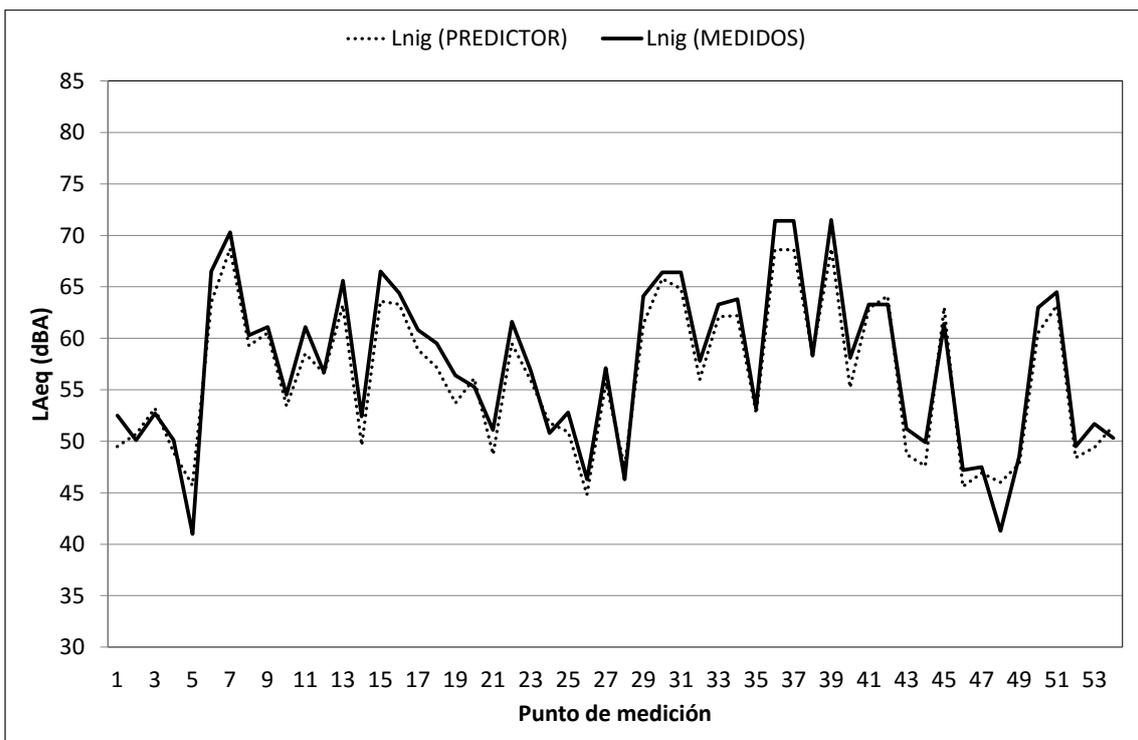


Figura 6.19: Comparación valores medidos vs predichos por Predictor-LimA en periodo noche

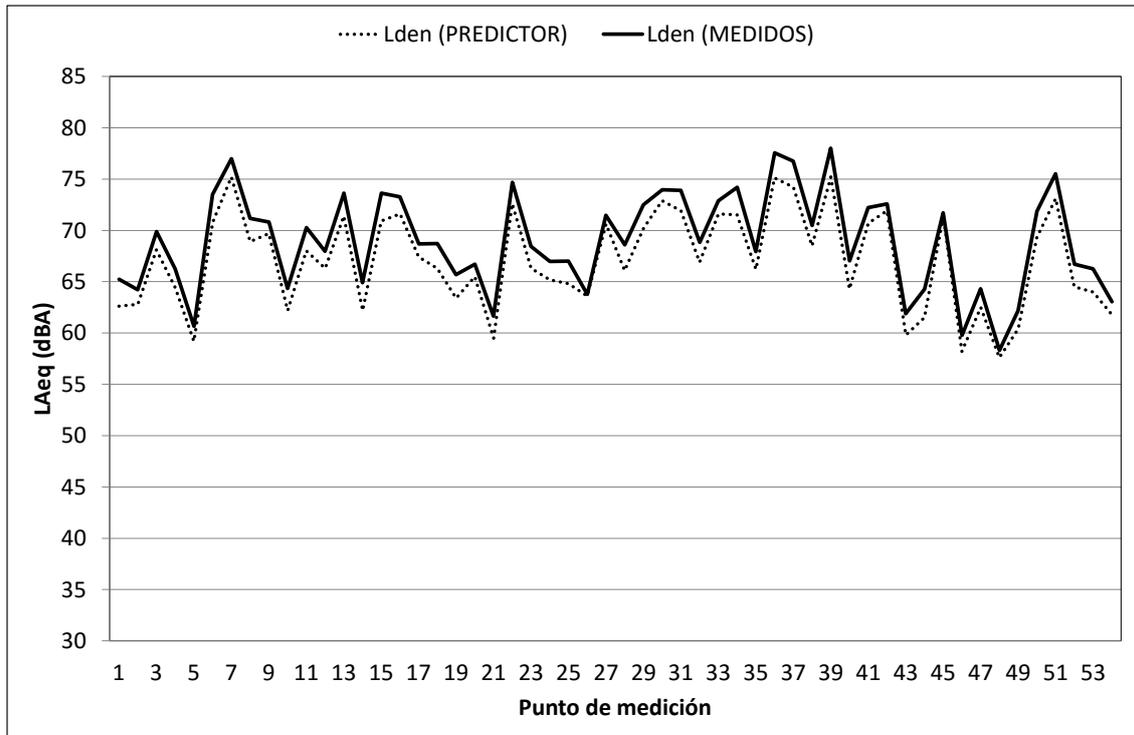


Figura 6.20: Comparación valores medidos vs predichos por Predictor-LimA en nivel L_{den}

Los valores que se exponen a continuación (en la Tabla 6.9) se encuentran en decibelios con ponderación A (dBA).

Tabla 6.9: Diferencia valores medidos vs predichos por Predictor-LimA

Punto de medida	Niveles medidos (dBA)				Diferencia (dBA)				Niveles simulados (dBA)			
	$L_{día}$	L_{tarde}	L_{noche}	L_{den}	$D_{día}$	D_{tarde}	D_{noche}	D_{24H}	$L_{día}$	L_{tarde}	L_{noche}	L_{den}
P01	65,2	63,2	52,5	63,1	3,3	1,7	3,0	2,6	61,9	61,5	49,5	62,6
P02	64,4	62,4	50,1	62,3	2,6	0,9	0,6	1,4	61,8	61,5	50,7	62,8
P03	70,4	68,4	52,7	68,3	2,8	1,1	0,5	1,8	67,6	67,3	53,2	68,1
P04	66,7	64,7	50,1	64,6	2,7	1,0	1,2	1,9	64,0	63,7	48,9	64,4
P05	61,3	59,3	41,0	59,1	2,8	1,1	4,7	1,5	58,5	58,2	45,7	59,2
P06	69,6	67,6	66,5	68,5	2,6	1,7	3,0	2,7	67,0	65,9	63,5	70,8
P07	72,3	70,3	70,3	71,4	2,1	2,3	1,6	1,8	70,2	68	68,7	75,2
P08	70,6	68,6	60,3	68,6	2,9	2,8	1,0	2,3	67,7	65,8	59,3	68,9
P09	69,7	67,7	61,1	67,8	2,0	0,6	0,6	1,1	67,7	67,1	60,5	69,7
P10	63,3	61,3	54,5	61,4	2,8	2,7	1,1	2,1	60,5	58,6	53,4	62,2
P11	68,8	66,8	61,1	67,0	2,7	1,3	2,6	2,3	66,1	65,5	58,5	68,0
P12	67,5	65,5	56,7	65,5	2,5	2,1	0,1	1,7	65	63,4	56,6	66,3
P13	71,2	69,2	65,6	69,6	2,8	1,3	2,4	2,2	68,4	67,9	63,2	71,4
P14	64,8	62,8	52,4	62,8	3,0	2,2	2,8	2,7	61,8	60,6	49,6	62,2
P15	69,9	67,9	66,5	68,7	2,8	1,9	2,9	2,7	67,1	66,0	63,6	70,9
P16	71,6	69,6	64,4	69,9	2,8	1,4	1,1	1,7	68,8	68,2	63,3	71,6
P17	66,1	64,1	60,8	64,6	1,2	0,0	1,9	1,3	64,9	64,1	58,9	67,4
P18	67,3	65,3	59,5	65,5	2,5	2,7	2,3	2,4	64,8	62,6	57,2	66,3
P19	64,3	62,3	56,4	62,5	2,5	1,5	2,7	2,3	61,8	60,8	53,7	63,4
P20	66,3	64,3	55,3	64,3	2,7	1,2	0,8	1,2	63,6	63,1	56,1	65,5
P21	60,9	58,9	51,1	59,0	2,1	2,0	2,4	2,1	58,8	56,9	48,7	59,5
P22	74,7	72,7	61,6	72,6	2,7	1,2	2,1	2,1	72,0	71,5	59,5	72,6
P23	68,1	66,1	56,9	66,1	2,6	2,6	1,0	2,2	65,5	63,5	55,9	66,3
P24	67,4	65,4	50,8	65,3	2,3	1,8	1,0	1,8	65,1	63,6	51,8	65,2
P25	67,2	65,2	52,8	65,1	2,4	2,0	1,9	2,2	64,8	63,2	50,9	64,8
P26	64,3	62,3	46,3	62,2	0,6	0,5	1,5	0,2	63,7	62,8	44,8	63,6
P27	71,7	69,7	57,1	69,6	1,3	0,2	1,4	0,9	70,4	69,5	55,7	70,6
P28	69,3	67,3	46,3	67,1	2,7	2,4	1,2	2,5	66,6	64,9	47,5	66,1
P29	70,4	68,4	64,1	68,7	2,2	1,3	2,7	2,3	68,2	67,1	61,4	70,2
P30	70,9	68,9	66,4	69,5	2,0	1,9	0,6	1,0	68,9	67,0	65,8	72,9
P31	70,8	68,8	66,4	69,4	2,9	2,8	1,6	2,0	67,9	66,0	64,8	71,9
P32	68,3	66,3	57,8	66,3	1,8	2,1	1,8	1,9	66,5	64,2	56,0	66,9

P33	71,7	69,7	63,3	69,9	2,0	0,4	1,2	1,3	69,7	69,3	62,1	71,6
P34	73,4	71,4	63,8	71,5	4,0	2,2	1,6	2,7	69,4	69,2	62,2	71,5
P35	68,2	66,2	53,2	66,1	1,9	2,0	0,5	1,7	66,3	64,2	52,7	66,2
P36	71,2	69,2	71,4	71,0	2,0	0,3	2,8	2,5	69,2	68,9	68,6	75,1
P37	61,3	59,3	71,4	67,3	2,7	3,1	2,8	2,5	64,0	62,4	68,6	74,2
P38	70,3	68,3	58,3	68,3	2,9	2,8	0,2	2,0	67,4	65,5	58,5	68,5
P39	72,9	70,9	71,5	72,2	2,8	3,0	2,8	2,8	70,1	67,9	68,7	75,2
P40	65,4	63,4	58,1	63,6	2,7	2,4	2,9	2,7	62,7	61	55,2	64,3
P41	70,6	68,6	63,3	68,8	3,1	2,0	0,4	1,5	67,5	66,6	62,9	70,7
P42	71,2	69,2	63,3	69,4	2,4	1,4	0,8	0,7	68,8	67,8	64,1	71,9
P43	61,2	59,2	51,2	59,3	2,0	1,8	2,5	2,1	59,2	57,4	48,7	59,8
P44	64,5	62,5	49,9	62,4	3,0	2,6	2,3	2,8	61,5	59,9	47,6	61,5
P45	70,9	68,9	61,4	69,0	2,4	0,7	1,6	0,3	68,5	68,2	63,0	71,4
P46	59,7	57,7	47,2	57,7	1,4	1,7	1,6	1,6	58,3	56	45,6	58,2
P47	64,8	62,8	47,5	62,7	2,3	1,5	0,6	1,8	62,5	61,3	46,9	62,5
P48	58,8	56,8	41,3	56,7	1,9	1,1	4,7	0,7	56,9	55,7	46	57,6
P49	62,3	60,3	48,5	60,2	2,1	1,7	0,7	1,8	60,2	58,6	47,8	60,4
P50	70,2	68,2	63,0	68,5	2,8	2,2	2,5	2,6	67,4	66	60,5	69,3
P51	75,0	73,0	64,5	73,0	3,0	2,9	1,3	2,4	72	70,1	63,2	73,1
P52	67,2	65,2	49,5	65,1	2,7	1,8	1,1	2,2	64,5	63,4	48,4	64,5
P53	66,5	64,5	51,7	64,4	2,4	2,1	2,3	2,2	64,1	62,4	49,4	64
P54	63,0	61,0	50,3	60,9	2,1	1,8	1,2	1,2	60,9	59,2	51,5	61,8

6.3.4. Correlación entre los resultados experimentales y predictivos

A continuación exponemos las gráficas (ver entre la *Figura 6.21* y *Figura 6.27*) correspondientes a cada periodo en cada uno de los *softwares* de simulación usados. Veremos gráficas que tendrán los valores predichos en el eje horizontal y en el eje vertical los valores medidos (*predichos vs medidos*).

Para saber interpretar estos resultados nos fijaremos explícitamente en la dispersión existente entre los valores puntuales y la línea de tendencia. Si los valores son generalmente muy cercanos a la línea, el valor r será cercano a 1, ya que expresa la relación existente entre las variables, la cual cosa indica una correlación estrecha.

6.3.4.1. Correlación *opeNoise*

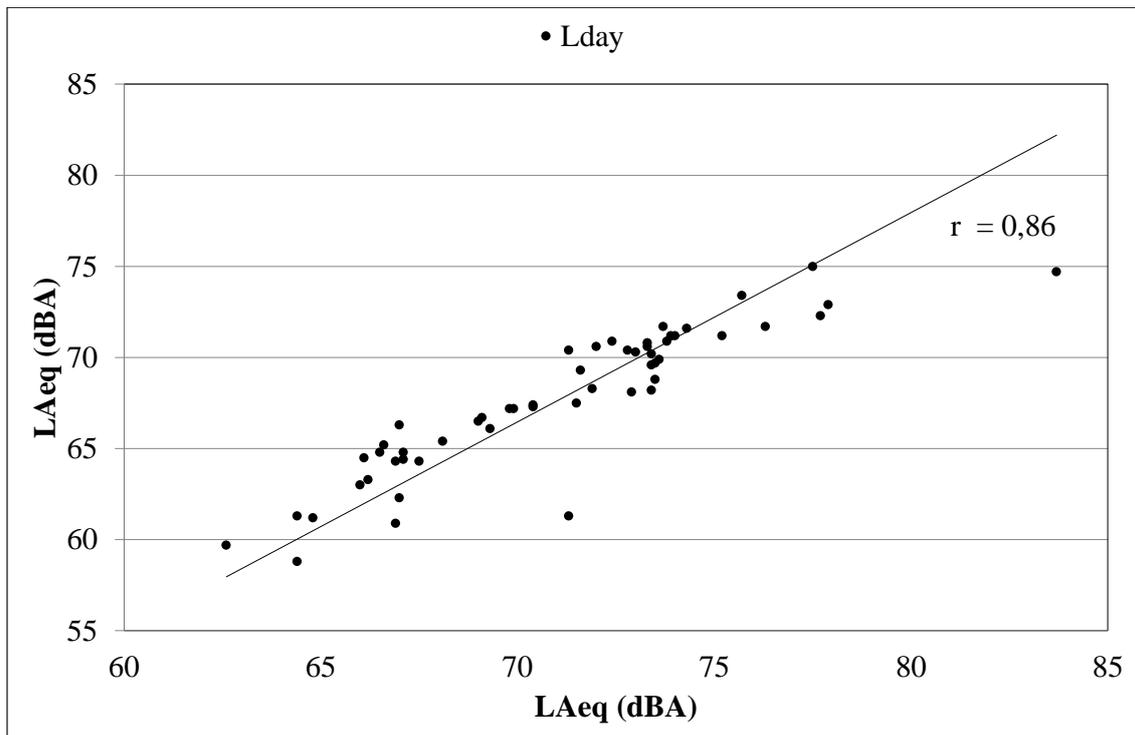


Figura 6.21: Correlación valores predichos por *opeNoise* vs medidos en periodo día

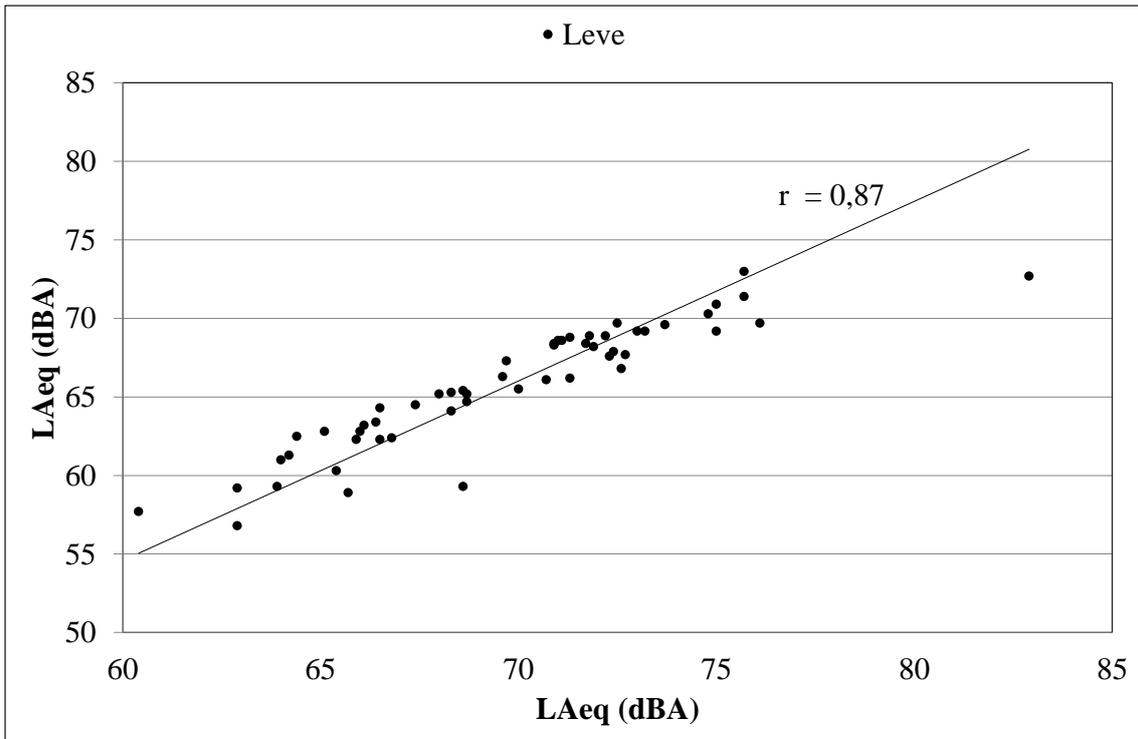


Figura 6.22: Correlación valores predichos por opeNoise vs medidos en periodo tarde

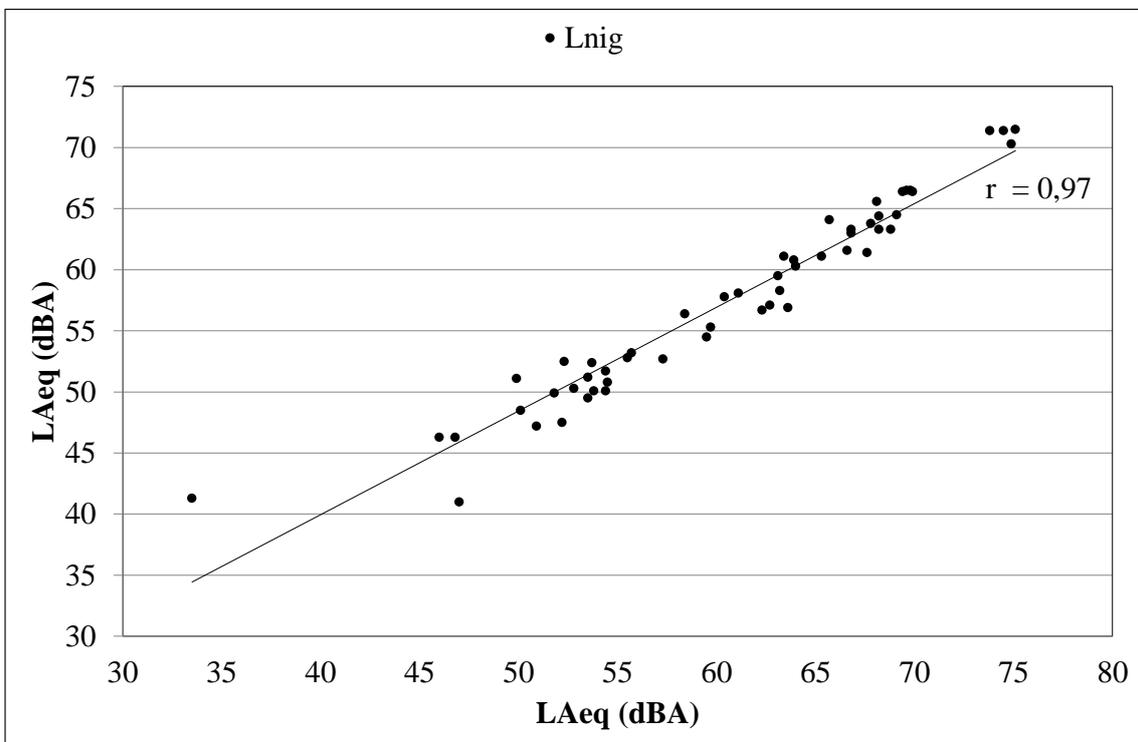


Figura 6.23: Correlación valores predichos por opeNoise vs medidos en periodo noche

6.3.4.2. Correlación Predictor-LimA

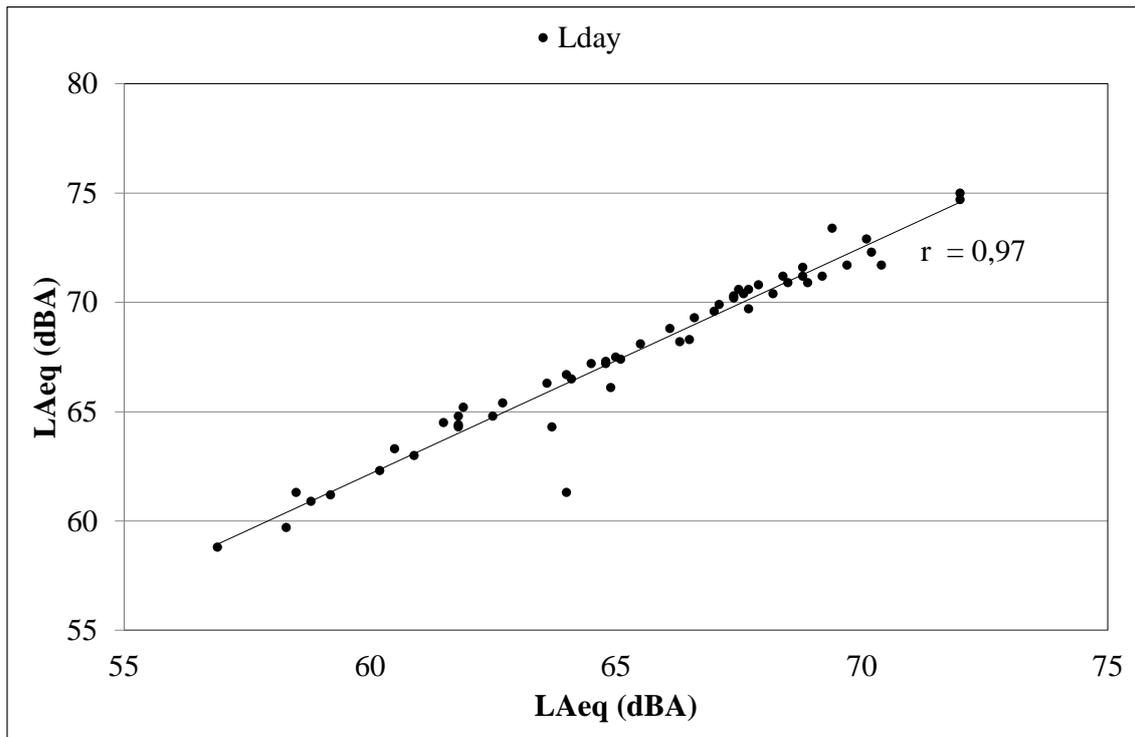


Figura 6.24: Correlación valores predichos por Predictor-LimA vs medidos en periodo día

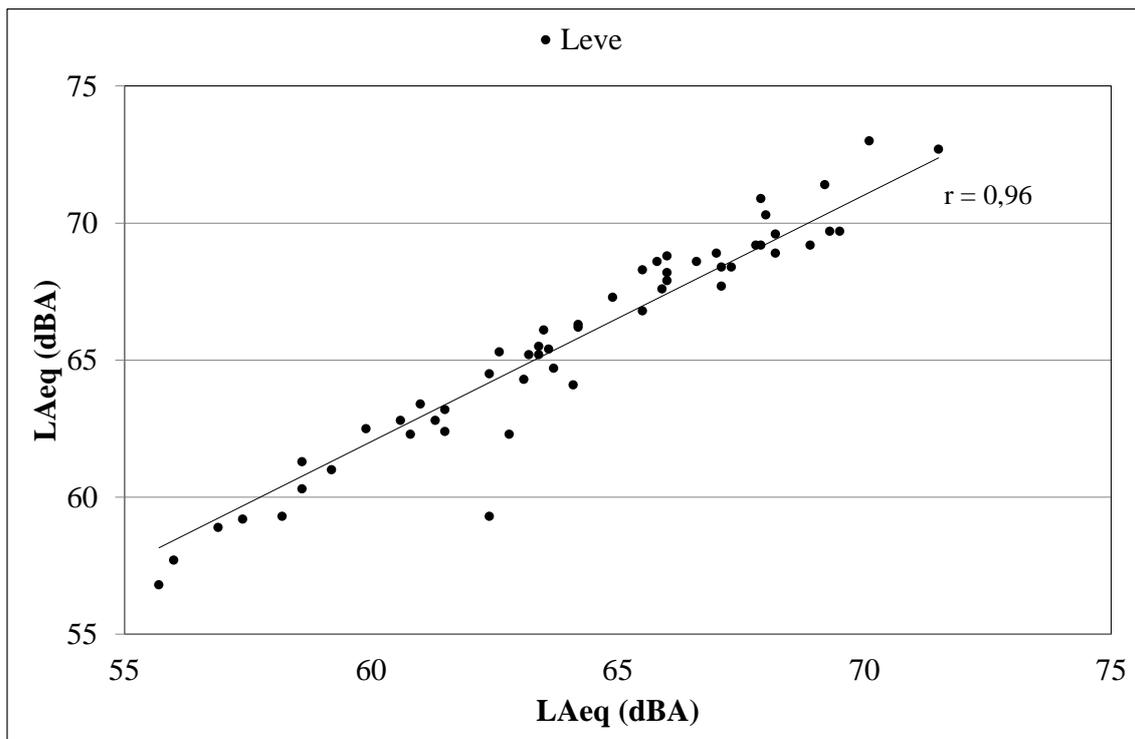


Figura 6.25: Correlación valores predichos por Predictor-LimA vs medidos en periodo tarde

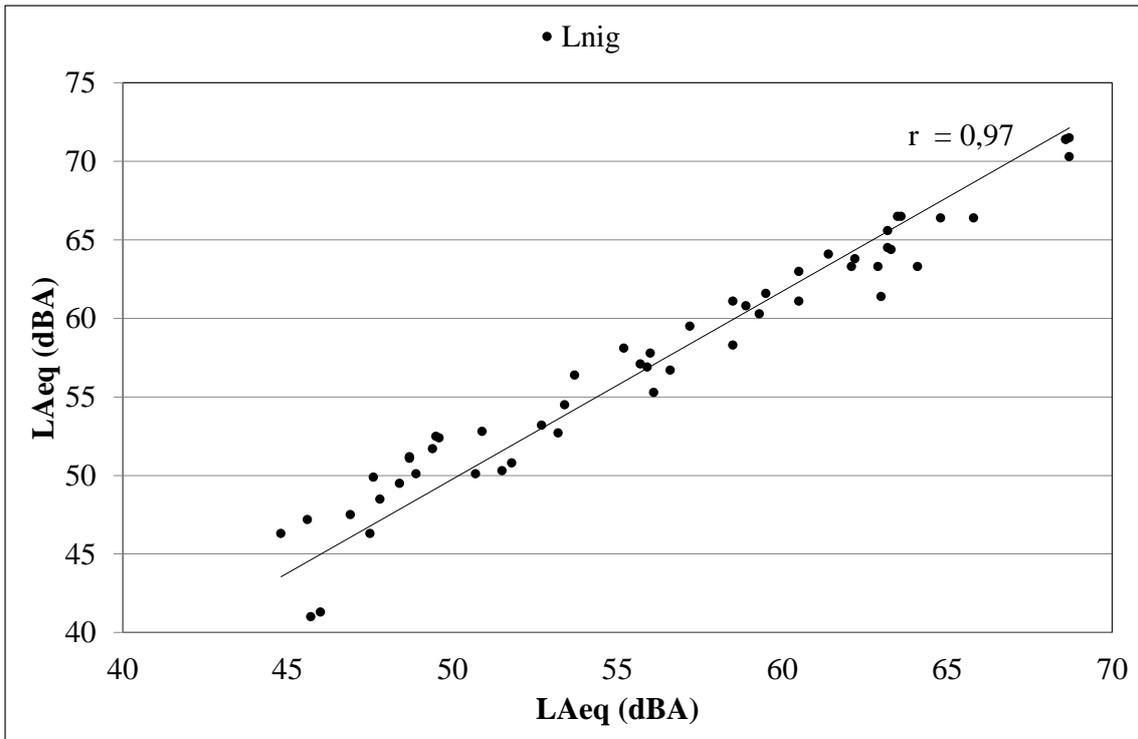


Figura 6.26: Correlación valores predichos por Predictor-LimA vs medidos en periodo noche

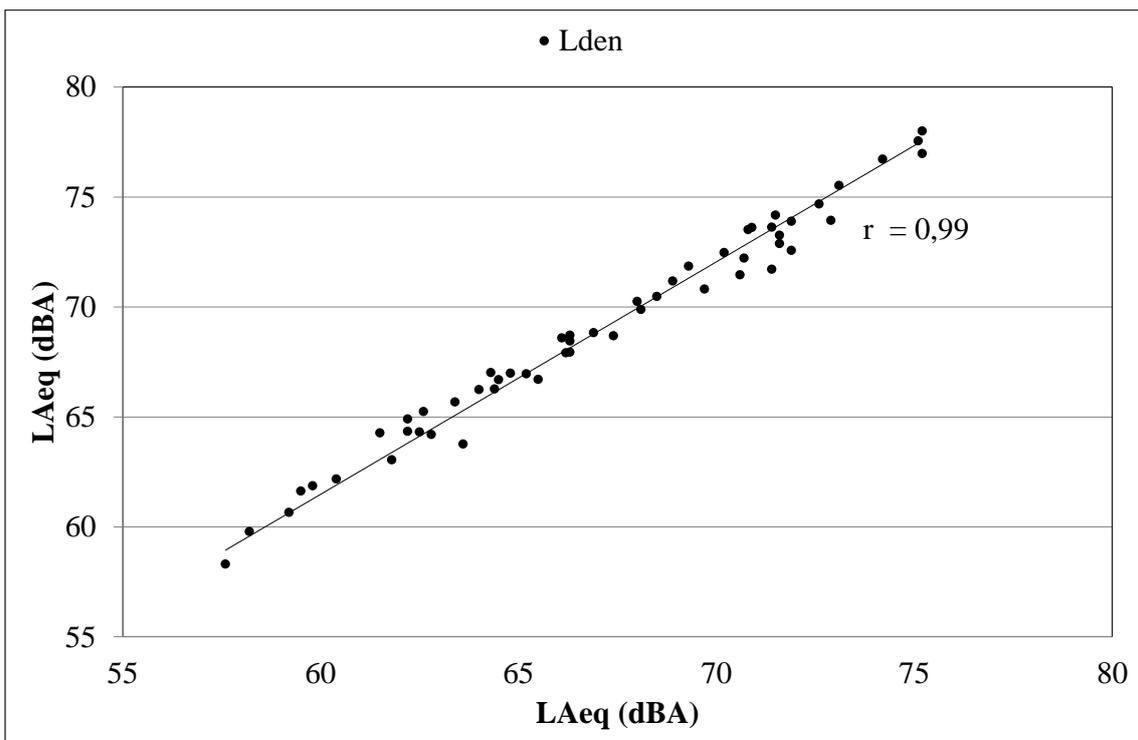


Figura 6.27: Correlación valores predichos por Predictor-LimA vs medidos en L_{den}

6.3.5. Análisis de los resultados

En cuanto a comparación de los datos obtenidos, podemos observar como los promedios de las diferencias entre valores experimentales y simulados son más elevados en el *software* de licencia libre que en el *Predictor-LimA*. Esto no significa que no sea un método válido, ya que esto se determina junto con la correlación, aunque sí es cierto que el tener una diferencia entre valores experimentales y simulados mayor a 3 dB (en la *Tabla 6.10* y *Tabla 6.11* se remarcan estos casos en rojo), debe hacer replantearnos el método a la hora de publicar mapas con diferencias tan altas a la realidad.

Tabla 6.10: Promedio diferencial en valores *opeNoise*

opeNoise		
Promedio de diferencias (dBA)		
D _{día}	D _{tarde}	D _{noche}
3,32	3,96	3,54

Tabla 6.11: Promedio diferencial en valores *Predictor-LimA*

Predictor-LimA			
Promedio de diferencias (dBA)			
D _{día}	D _{tarde}	D _{noche}	D _{24H}
2,45	1,74	1,75	1,90

Observando la *Tabla 6.10* y la *Tabla 6.11* podemos calificar la simulación ajustada del *opeNoise* como una mala simulación, comparada con la simulación en *Predictor-LimA*. Sería necesario ajustarla aún más.

Por otro lado, usaremos la correlación, como método de validación de los valores simulados frente a los medidos. Como sabemos, si la correlación (factor r de la pendiente en la línea de tendencia) es próxima a 1, significará que la dependencia entre nuestras variables (valores experimentales y valores simulados) es dependiente de relación directa, la una de la otra, cosa que validaría la simulación, demostrando así que el mapa es una buena y acertada aproximación a la realidad.

Exponemos a continuación la correlación obtenida en las distintas simulaciones:

Tabla 6.12: Valores de correlación para cada *software* y periodo

	r_{L_D}	r_{L_E}	r_{L_N}	$r_{L_{den}}$
OpeNoise	0,86	0,87	0,97	-
Predictor-LimA	0,97	0,96	0,97	0,99

Con lo visto en la tabla anterior (*Tabla 6.12*), podemos validar ambas simulaciones únicamente teniendo en cuenta la correlación, ya que en todos los casos es próxima a 1.

Demostramos así que la correlación no es el único parámetro que hay que tener en cuenta a la hora de validar la simulación de valores frente a los reales, siempre hace falta comparar independientemente las medidas por separado y comparar la diferencia entre niveles válidos y niveles predichos, marcándose una tolerancia permitida (en este caso 3 decibelios, por estar hablando de medidas ambientales de ruido por tráfico rodado) en ambientes externos.

Vemos entonces, que el único método de simulación que cumple ambos requisitos (comparación y correlación) es el *software Predictor-LimA*, si no tuviésemos alternativa alguna para usar un *software* bajo licencia de pago y queremos simular un mapa con *opeNoise* debemos tener en cuenta esta falla que estaremos cometiendo en algunos casos.

En cualquier caso, siempre que se usen *softwares* de simulación hace falta validarlos (con comparación y correlación) para cada caso y/o aplicación particular.

7. RECOMENDACIONES GENERALES

A continuación vamos a sugerir posibles acciones que la Municipalidad de San Isidro podría tener en cuenta para reducir la contaminación acústica.

- En las avenidas grandes, con niveles superiores a 70 dBA durante el periodo diurno, se podría habilitar un carril reservado para el transporte público (autobuses y taxis). Una medida que ya se ha tomado en el distrito de Miraflores con buenos resultados.
- Restringir la entrada vehicular a las calles alrededor de El Olivar (zona verde protegida) durante el periodo nocturno (exceptuando vecinos de la zona) y prohibir, las 24 H el ingreso de vehículos pesados (sin autorización).
- Prohibir el transporte pesado en zonas residenciales en periodo nocturno, ya que producen elevados niveles sonoros de exposición máxima (L_{AFmax}), que es el nivel más crítico de perturbación del sueño [4].
- Cambiar la trayectoria del sobrevuelo de aeronaves hacia el Océano Pacífico para evitar el paso por todas las zonas residenciales de Lima [4].
- Asfaltar las calles homogéneamente, es decir, sin baches ni grietas que producen un alto nivel impulsivo al interactuar con las ruedas de los vehículos. Se sugiere que el asfalto sea acústicamente absorbente, capaz de reducir el ruido por contacto [4].
- Estudiar la posible instalación de pantallas acústicas en vías específicas del distrito, como la av. Paseo de la República (o vía expresa).
- Exigir el acondicionamiento acústico en los *chillers*, condensadores, torres de enfriamiento y otros equipos electromecánicos de los hoteles y supermercados (en zonas residenciales) que tienen la instalación al aire libre.
- Crear una legislación sobre el permiso de emisiones acústicas para cada tipo de vehículo y exigir su cumplimiento multando a los propietarios que las incumplan. Al igual que incentivar la compra de nuevos vehículos que cumplan estas exigencias. Esto es una medida más para el ámbito nacional, pero se puede promover localmente.
- Preparar periódicamente una campaña de concienciación sobre la contaminación acústica, explicando a los habitantes del distrito qué es, como se genera y como les afecta, con la finalidad de evitar sus efectos en actividades cotidianas. De la misma manera, proyectarla a las autoridades policiales, bomberos y de hospitalización, que usan indiscriminadamente sus dispositivos de emergencia (pitos y sirenas) y son quienes deben de dar ejemplo al ciudadano.
- Exigir un nivel mínimo de aislamiento en las paredes que dan al exterior de nuevas construcciones, y considerar la posibilidad de que la Municipalidad dé un incentivo a las obras en residencias particulares con tal fin.
- Estudiar y organizar horarios específicos para el uso de cada tipo de máquina pesada que se utiliza en las construcciones que se realizan actualmente en el distrito.

8. CONCLUSIONES

A continuación se van a exponer las conclusiones, las cuales han sido razonadas después de la realización del trabajo:

- Lima tiene características acústicas que difieren mucho de cualquier ciudad grande de Europa. Cada Municipalidad de Lima se distingue totalmente del resto y esto la hace una ciudad bien heterogénea en todas sus características, por las que la contaminación acústica no iba a ser una excepción. Las calles no cuentan con el mismo tipo de asfalto, y en muchas ocasiones no es homogéneo. Se permite la circulación de vehículos antiguos y en mal estado. El transporte público no está regulado ni controlado. En horas punta se sufren atascos severos en ciertas avenidas que no soportan tales flujos de tráfico. Existen vehículos con cláxones excesivamente molestos. La velocidad de los vehículos, en muchas ocasiones, se controla por rudos badenes. Las viviendas no cumplen ninguna regla de aislamiento acústico. Tiene un aeropuerto inmerso totalmente en la zona urbana. Al encontrarse en un país en desarrollo, sufre muchas obras simultáneas. Todo esto, son características que dificultan el control del ruido y amplifican su efecto sobre la población.
- En periodo vespertino, en el distrito de San Isidro, no se diferencia en más de 2.5 dB respecto del periodo diurno (característica que permite estar hablando de periodos equivalentes para ruido urbano). En cambio, la diferencia de niveles entre los periodos diurno y nocturno es muy variable, según nos encontremos en ciertas avenidas con niveles equivalentes o en calles donde el nivel se disminuye 10 dBA.
- Demostramos que en una ciudad como Lima, el medir cualquier día de entre semana, dentro del mismo periodo, se considera equivalente [Punto 6.2.2 *Demostración de la persistencia en el tiempo de los niveles de presión sonora, durante el periodo día*].
- A través del análisis subjetivo, hemos demostrado que la población de San Isidro percibe el ruido como un gran problema que afecta a sus calidades de vida, igual que en los estudios llevados a cabo por la OMS en Europa. Además se corrobora que la población urbana (57,3 %) entiende el ruido de tráfico como principal fuente de contaminación sonora [4], existiendo la especial queja del uso indiscriminado de la bocina (36,9 %).
- Sólo el 2,8 % de habitantes en San Isidro dice no sentir ruido en el distrito. El 83,5 % declara que el ruido le provoca un deterioro en la calidad de vida. Se han detectado los principales efectos del ruido sobre los habitantes de San Isidro, siendo el estrés (31,3 %), el dolor de cabeza (20,1 %) y la pérdida de concentración (17,8 %) las causas mayoritarias. Las actividades más afectadas son el descanso (23,3 %) y el estudio o la lectura (16,8 %).
- Existen vías que en general superan los 70 dBA durante los tres periodos del día, superando la recomendación nacional e internacional.
- Hemos confeccionado mapas de ruido con un *software* comercial (*Predictor-LimA*) y otro libre (*opeNoise*).
- Hemos demostrado que los resultados obtenidos con *Predictor-LimA* son más representativos y confiables que con el *software* libre, *opeNoise* (ver *Tabla 6.10*, *Tabla 6.11* y *Tabla 6.12*).
- El *software opeNoise* no es un programa adecuado para proyectos grandes, pero puede ser útil con proyectos de poca envergadura y en entornos más estables (desde el punto de vista de las fuentes sonoras).

9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] MARTÍNEZ LLORENTE, J. y PETERS, J. (2015) *Contaminación acústica y ruido*. Madrid: Ecologistas en Acción.
- [2] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (1999) *Guías para el ruido urbano*. Londres.
- [3] WORLD HEALTH ORGANIZATION (2009) *Global health risks. Mortality and burden of disease attributable to selected major risks*. Ginebra.
- [4] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (1996) *Política futura de lucha contra el ruido. Libro verde de la comisión europea*. Bruselas.
- [5] SALVADOR, R. (1998) “Propuesta para el control y la disminución de la contaminación acústica en una gran ciudad: experiencias prácticas en Barcelona” en *Environmental Acoustics*, Zaragoza. Barcelona.
- [6] HERNÁNDEZ, R., CUETO, J.L. y GALLEGO, J.L. (2000) “Control de las emisiones sonoras producidas por las actividades incluidas en los Anexos I y II de la Ley 7/1994 de 18 de mayo de protección ambiental en Andalucía” en *Acústica, Tecniacústica*. Madrid.
- [7] SÑLENSMINDE, K. (1999) “Stated choice valuation of urban traffic air pollution and noise”, *Transportation Research Part D* 4 13-27.
- [8] ARKIN, H. y COLTON, R. (1970) *An outline of statistical methods*. Nueva York: Barnes & Noble
- [9] EZAQUIAGA ARQUITECTURA S.L. (2006), *Análisis de la dinámica demográfica. Plan territorial parcial de Menorca*. Menorca.
- [10] LLIMPE QUINTANILLA, C.E., PIAGGIO, M. y MORENO RUIZ, J.M.(2007) “Noise map of traffic flow in old town Lima, Perú” en *19th, International Congress on Acoustics (ICA)*. Madrid.
- [11] SUÁREZ SILVA, E. (2002) *Metodologías simplificadas para estudios en acústica ambiental: aplicación a la isla de Menorca*. Menorca.
- [12] RECUERO, M. (1998) “Estudio Subjetivo del Ambiente Acústico en los Municipios de la Comunidad de Madrid” en *I Congreso Iberoamericano de Acústica, Florinapolis*. Madrid
- [13] MUNICIPALIDAD DE SAN ISIDRO (2005) *Ordenanza N°127-MSI, del 28 de setiembre*. Art. 23º, p. 301122
- [14] LLIMPE QUINTANILLA, C.E. (2013) *Desarrollo de instrumentos y levantamiento de información para el seguimiento y monitoreo de la estrategia de la MML para reducir la contaminación sonora en el mercado de Lima*. Lima
- LLIMPE QUINTANILLA, C.E. (2016) *Servicio de levantamiento de información de la contaminación sonora en áreas específicas a través de la elaboración de mapas sonoros estratégicos y el análisis subjetivo en el distrito de San Isidro*. Lima.
- NATIVIDAD MAGRANER, I. (2013) *Estudi de la contaminació acústica en la població de Sollana*. Projecte final de grau. Gandia: Escola Politècnica Superior de Gandia.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA E INFORMÁTICA (2015) *Estado de la población peruana 2015*. Lima.
- SILENCE PROJECT (2008) *Practitioner handbook for local noise action plans*. Viena: Silence.
- SOETA, Y. y ANDO, Y. (2015) *Neurally based measurement and evaluation of environmental noise*. Osaka: Springer.
- BRÜEL & KJÆR SOUND & VIBRATION MEASUREMENT A/S (2000) *Ruido ambiental*. Madrid: Brüel & Kjær.
- EUROPEAN COMMISSION WORKING GROUP ASSESSMENT OF EXPOSURE TO NOISE (2006) *Good practice guide for strategic mapping and the production of associated data on noise exposure*. Londres: WG-AEN
- AJUNTAMENT DE VALÈNCIA. REGIDORIA DE CONTAMINACIÓ ACÚSTICA (2012) *Memoria resumen. Mapa estratégico de ruido del término municipal de Valencia 2012*. València: Ajuntament de València.
- PRASCEVIC, M. et al. (2013) *Verification of NAISS model for road traffic noise prediction in urban areas*. Serbia.
- CHO, D.S. y MUN, S. (2007) “Development of a highway traffic noise prediction model that considers various road surface types” in *Applied Acoustics* 69, 1120-1128. Seúl: ELSEVIER.