

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



E.T.S.I. TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS ESPECÍFICAS DE TELECOMUNICACIÓN

**Desarrollo de un método simplificado para la
elaboración de mapas de ruido en base a
información del tráfico**

Autor:

Rubén Cantalapiedra Tascón

Tutor:

Juan José Villacorta Calvo

TÍTULO: Desarrollo de un método simplificado para la elaboración de mapas de ruido en base a información del tráfico.

AUTOR: Rubén Cantalapiedra Tascón.

TUTOR: Juan José Villacorta Calvo.

DEPARTAMENTO: Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones e Ingeniería Telemática

TRIBUNAL

PRESIDENTE: Alberto Izquierdo Fuente.

SECRETARIO: Ramón de la Rosa Steiz.

VOCAL: Juan José Villacorta Calvo.

SUPLENTE 1: Alonso Alonso Alonso.

SUPLENTE 2: Jaime Gómez Gil.

FECHA: 4 de septiembre de 2018.

CALIFICACIÓN:

RESUMEN

Este Trabajo de Fin de Grado se centra en la creación de un modelo de predicción de niveles sonoros para la elaboración de mapas de ruido en centros urbanos. Para ello, se ha realizado un estudio con diferentes modelos matemáticos de regresión con el fin de obtener unas fórmulas que dependan únicamente de un parámetro. Logrando así simplificar los métodos existentes.

Posteriormente, se prosiguió con la simplificación del método mediante una clasificación de los tipos de vías, con el objetivo de eliminar la dependencia del método con parámetros externos.

ABSTRACT

This Bachelor thesis is focused in a noise level prediction model development in order to create noise maps in city centres. For that, a studio with different regression math models has been done with the aim of getting formulas of one parameter dependence, simplifying the current methods. Afterwards, this method was simplified by a street clasifying, so the external parameters dependence can be removed from the method.

Agradecimientos

A Audiotec, en especial a Ángel, por su inspiración, su experiencia, las facilidades proporcionadas y porque sin su ayuda no hubiera sido posible.

A Juanjo, por su paciencia y revisión de este trabajo.

A mis amigos, por su atención y su preocupación.

A mis padres y mi hermano, por ayudarme en los momentos difíciles y darme una segunda oportunidad.

Muchas gracias.

Índice

1.Introducción.....	14
1.1.-Contexto	14
1.2.-Justificación.....	14
1.3.-Medios y Herramientas Utilizadas	15
1.4.-Organización de la memoria	15
1.5.-Motivación y Objetivos planteados	16
2.Conceptos del Ruido.	18
2.1.-Introducción.....	18
2.2.-Ruido.....	18
2.2.1.-¿Qué es el sonido?:.....	18
2.2.2.-¿Qué es el ruido?	19
2.2.3.-Tipos de ruido	20
2.2.4.-Focos sonoros	22
2.3.-Legislación.....	24
2.4.-Molestias derivadas del ruido.....	26
2.5.-Mapas de ruido	27
2.6.-Estado del ARTE	28
2.6.1.-Método Francés NMPB-Routes-96	29
2.6.2.-FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model	32
2.6.3.-Nord 2000 de los países nórdicos	33
2.6.4.-Modelo CoRTN (Calculation of Road Traffic Noise)	34
2.6.5.-Modelo RLS 90/DIN18005.....	36
2.7.-Conclusiones	39
3.Datos	41
3.1.-Introducción.....	41
3.2.-Parámetros	42
3.3.-IMD	45
3.3.1.-Reparto porcentual de IMD en función de la franja horaria	46
3.3.2.-IMD/HORA	51
3.4.- $LA_{eq,1}$	54
3.5.-Conclusiones	56

4.Método de predicción de niveles sonoros.....	58
4.1.-Introducción.....	58
4.2.-Análisis de Variables	59
4.3.-Modelos Analizados.....	64
4.3.1.-Modelos para L_d	66
4.3.2.-Modelos para L_e	67
4.3.3.-Modelos para L_n	70
4.4.-Resultados.....	72
5.Simplificación del método de predicción de ruido.....	75
5.1.-Introducción.....	75
5.2.-Clasificación	75
5.2.1.-Vías Locales.....	76
5.2.2.-Vías Colectoras.....	78
5.2.3.-Vías Arteriales	79
5.3.-Visualización gráfica de los resultados	81
5.4.-Resultados.....	83
6.Conclusiones y Líneas Futuras	85
6.1.-Conclusiones.....	85
6.2.-Líneas futuras.....	86
7.Referencias.....	87
ANEXO	89
Código Matlab del método de predicción de niveles sonoros.....	89

Índice de figuras

Figura 1: Secciones del oído humano.....	19
Figura 2:Nivel de volumen para el oído humano.	20
Figura 3: Corrección por longitud de sección.....	39
Figura 4: Variación de IMD en franjas horarias.....	48
Figura 5: Reparto porcentual de IMD en franjas horarias.	49
Figura 6: Variación del IMD en franjas horarias global.	50
Figura 7: Reparto porcentual de IMD en franjas horarias global.....	51
Figura 8: IMD de vías locales por hora.	52
Figura 9: IMD de vías colectoras por hora.	52
Figura 10: IMD de vías arteriales por hora.....	53
Figura 11: Gráfico de referencia de IMD por hora del método NMPB-Routes.....	54
Figura 12: L_d , L_e y L_n promedios por día en vías locales.....	54
Figura 13: L_d , L_e y L_n promedios por día en vías colectoras.	55
Figura 14: L_d , L_e y L_n promedios por día en vías arteriales.....	55
Figura 15: Límites máximos de L_d , L_e y L_n para vías locales.	55
Figura 16: Límites máximos de L_d , L_e y L_n para vías colectoras.....	56
Figura 17: Límites máximos de L_d , L_e y L_n para vías arteriales.	56
Figura 18: Aproximaciones de modelos a L_d	67
Figura 19: Aproximaciones de modelos a L_e	69
Figura 20: Aproximaciones de modelos a L_n	71
Figura 21:Ejemplo 1 de Interfaz en Matlab en función de parámetros seleccionados.	82
Figura 22:Ejemplo 2 de Interfaz en Matlab en función de parámetros seleccionados.	82

Índice de tablas

Tabla 1: Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas.....	25
Tabla 2: Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales	25
Tabla 3: Cálculo de $L_{rodadura}$	31
Tabla 4: Corrección en función de la rodadura.....	31
Tabla 5: Cálculo de L_{motor} para vehículo de velocidad constante.....	31
Tabla 6: Cálculo de L_{motor} para vehículo acelerado.....	31
Tabla 7: Cálculo de L_{motor} para vehículo desacelerado.....	31
Tabla 8: Corrección en función de la pendiente de la vía.....	33
Tabla 9: Corrección en función del coeficiente de absorción del suelo.....	36
Tabla 10: Corrección por tipo de carpeta.....	38
Tabla 11: Valor de STORN en función del tipo de asfalto.....	43
Tabla 12: IMD en función de la franja horaria.....	48
Tabla 13: Correlación de la variable L_d con respecto a otros parámetros.....	62
Tabla 14: Correlación de la variable L_e con respecto a otros parámetros.....	62
Tabla 15: Correlación de la variable L_n con respecto a otros parámetros.....	63
Tabla 16: Resumen modelos y estimaciones para L_d	66
Tabla 17: Resumen del modelo de potencia para L_d	67
Tabla 18: Coeficientes del modelo de potencia para L_d	67
Tabla 19: Resumen modelos y estimaciones para L_e	68
Tabla 20: Resumen del modelo de potencia para L_e	69
Tabla 21: Coeficientes del modelo de potencia para L_e	69
Tabla 22: Resumen modelos y estimaciones para L_n	70
Tabla 23: Resumen del modelo de potencia para L_n	71
Tabla 24: Coeficientes del modelo de potencia para L_n	71
Tabla 25: Valores de los modelos.....	73
Tabla 26: Errores absoluto y relativo promedios y porcentaje de acierto.....	73
Tabla 27: Promedio IMD en función de franja horaria para vías locales.....	76
Tabla 28: Valores de L_d , L_e y L_n para vías locales.....	76
Tabla 29: Correcciones para vía local tipo U.....	77
Tabla 30: Correcciones para vía local tipo L.....	77
Tabla 31: Promedio IMD en función de franja horaria para vías colectoras.....	78
Tabla 32: Valores de L_d , L_e y L_n para vías colectoras.....	78
Tabla 33: Correcciones para vía colectora tipo L.....	79
Tabla 34: Correcciones para vía colectora tipo U.....	79
Tabla 35: Promedio IMD en función de franja horaria para vías arteriales.....	79
Tabla 36: Valores de L_d , L_e y L_n para vías arteriales.....	79
Tabla 37: Correcciones para vía arterial tipo U.....	80
Tabla 38: Correcciones para vía arterial tipo L.....	81
Tabla 39: Valores de las aproximaciones.....	83
Tabla 40: Errores absoluto y relativo promedios y porcentaje de acierto para método simplificado.....	84

1.Introducción

1.1.-Contexto

La presencia de ruido es uno de los factores que más influyen en el día a día de los ciudadanos. Se ha convertido en un problema muy importante que afecta gravemente a la salud de las personas que viven en núcleos urbanos, especialmente en grandes ciudades. Algunos de los síntomas detectados son: cambios en los ciclos de sueño, dificultad en la concentración, jaquecas o dolores de cabeza. Además de otros problemas que afectan a la calidad de vida y que pueden llegar a producir estrés como son la imposibilidad de mantener una conversación, malhumor, necesidad de aumentar la voz para poder realizar una comunicación... [1][2]. Dada la problemática presentada, existen varias medidas de actuación. Una de las principales herramientas son los mapas de ruido.

Los mapas de ruido nos ayudan a analizar los niveles de emisión acústica producidos en una ciudad. Principalmente el ruido producido por los vehículos, que es el que resulta más molesto a los ciudadanos. Se trata de una herramienta importante para poder actuar y reducir los valores de emisión acústica elevados.

Para la realización de mapas de ruido es necesario un método de predicción de niveles de ruido. Se utilizan como referencia un número determinado de datos obtenidos experimentalmente en el lugar de realización del mapa de ruido. Al aplicar el método a los datos experimentales obtenidos en un número determinado de puntos del núcleo urbano, obtenemos un valor concreto para todas las calles y vías de la ciudad.

Este trabajo se centra en la creación de un método simplificado de predicción de niveles acústicos para vías de tráfico rodado dentro de un núcleo urbano. Se analizan los distintos tipos de métodos que existen, así como la necesidad de crear un modelo simplificado que reduzca los costes y el tiempo de ejecución.

El análisis previo a la realización de mapas de ruido resulta de gran interés, ya que la elección de los puntos donde posteriormente se realizarán las medidas experimentales influye de manera considerable en la precisión del mapa de ruido.

1.2.-Justificación

La necesidad de un método simplificado surge por la dificultad técnica que requieren los modelos existentes actualmente. Se han elaborado métodos simplificados de los principales modelos de predicción de ruido, pero siempre dependiendo de parámetros que, aunque reducen la carga computacional y las fórmulas matemáticas, siguen requiriendo de datos cuya obtención es costosa y prolongada en el tiempo [3].

La idea es realizar un modelo que no requiera de la obtención de datos, por lo que el cálculo de valores es inmediato sin necesidad de requerimientos técnicos. De esta manera, se busca conseguir, por un lado, la mejora en el procesado de los datos mediante la reducción de la carga computacional simplificando las fórmulas complejas que existen en los principales modelos y por otro, no depender de datos experimentales reduciendo así el coste y la duración temporal para el cálculo de los valores.

1.3.-Medios y Herramientas Utilizadas

Para la realización de este trabajo ha sido necesario utilizar distintos programas y datos pertenecientes a la empresa Audiotec S, A. A continuación, se detallan los programas y herramientas utilizados:

- Estación de medida: Se trata de unas pequeñas estaciones colocadas en puntos estratégicos de los núcleos urbanos donde se desea realizar el mapa de ruido, están formadas por un Analizador de espectros clase 1, previamente verificado mediante un calibrador. Dicha estación de medida mide el LA_{eq} (dBA) como parámetro acústico de evaluación.
- ARCGIS: Es un programa basado en un grupo de productos de software para los Sistemas de Información Geográfica o SIG. Se trata de una Interfaz Geográfica formada por diferentes capas que contienen distinta información en función de nuestro interés [4].
- SPSS: Es un programa informático estadístico que permite predecir modelos en función de los datos introducidos. Es uno de los principales programas estadísticos debido a la capacidad para trabajar con bases de datos de grandes tamaños y por disponer de una interfaz sencilla. Está formado por un módulo base al que se le incorporan diversos módulos anexos que se actualizan constantemente con nuevos procedimientos estadísticos [5].
- MATLAB: Matlab es una abreviatura de Laboratorio de Matrices, se trata de una herramienta de software matemático con un entorno de desarrollo integrado (IDE) y un lenguaje de programación propio basado en el lenguaje C y que contempla un gran número de posibilidades [6].
Comúnmente es utilizado en la enseñanza, especialmente en las universidades, pero también es utilizado en el mundo laboral.
- EXCEL: Es un programa informático desarrollado y distribuido por Microsoft Corp. Se trata de un software que permite realizar tareas contables y financieras gracias a sus funciones, desarrolladas específicamente para ayudar a crear y trabajar con hojas de cálculo. Estas hojas de cálculo permiten operar, con distintas fórmulas matemáticas, un conjunto de datos [7].
- Analizador de espectros: Es un equipo de medición electrónica que permite visualizar las componentes espectrales de una señal a lo largo de un rango de frecuencias. Permite analizar cualquier tipo de señal eléctrica. Esta herramienta es muy útil para indicar los valores de emisión e inmisión acústica.
- Calibrador: El calibrador de nivel de sonido genera una onda senoidal de 94dB ó 114dB a una frecuencia de 1kHz. Cuando se inserta un micrófono de un analizador de espectros, esta muestra en decibelios (dB) el valor producido por el sonido generado. El medidor de nivel de sonido deberá ser ajustado, si es necesario, para igualar la señal de salida del calibrador con el valor obtenido.

1.4.-Organización de la memoria

El trabajo de Fin de grado que se expone en el presente documento está formado por 7 grandes bloques en los que se intenta estructurar de manera ordenada en coherencia con la realización del proyecto. Cada bloque, en lo que su medida requiere, intenta exponer una

estructura común en la que se precisa una breve descripción del asunto a tratar, un desarrollo de este y los resultados o conclusiones obtenidos para cada apartado.

El primer bloque está formado por la introducción en la que se expone el contexto en el que tiene cabida este proyecto, la justificación de este, los medios y herramientas utilizadas y la organización de la memoria.

En el segundo bloque se exponen los principales conceptos del ruido, los antecedentes y el estado del arte, donde se detallan los principales métodos de predicción de ruido y su evolución a lo largo de los años.

En el tercer bloque se detallan los datos utilizados, forma de obtención de estos y método de elección de las características que influyen en el cálculo de los niveles de presión sonora.

En el cuarto bloque encontramos el modelo de predicción de niveles de ruido dependiente de un único parámetro, donde se detallan las fórmulas obtenidas y se explica cómo se ha realizado.

En el quinto bloque se describe la simplificación del modelo anterior atendiendo a la relación de este con los diferentes tipos de vías, la clasificación de estas y la justificación de dicha clasificación.

En el sexto bloque encontramos las conclusiones del trabajo y una posible vía para su continuación.

En el séptimo bloque encontramos las referencias utilizadas para la realización del trabajo.

Por último, encontramos un apartado como anexo en el que se encuentra el código realizado en Matlab donde se muestra el modelo simplificado a través de una interfaz gráfica que tiene como resultado el valor de los niveles acústicos para cada tipo de vía.

1.5.-Motivación y Objetivos planteados

En el apartado 2.3 de la legislación se establece que el método de predicción de niveles acústicos para la elaboración de mapas de ruido ha de ser el método NMPB-Routes de Francia. Como hemos podido ver en el apartado 2.6.1, este método necesita de un gran número de datos para su simulación. A menudo la obtención de estos datos no es sencilla ya que requiere de estaciones de medida, lo que se traduce en un alto coste y un periodo de tiempo elevado para la obtención de datos.

Es por ello por lo que se plantea la posibilidad de realizar una simplificación de dicho método, la idea inicial era tomar como referencia las fórmulas del método francés e ir simplificando las mismas a través de un método experimental comprobado con los datos disponibles de las estaciones de medida de un gran número de puntos de una ciudad española.

Como el sector de las Telecomunicaciones abarca un campo muy extenso, se decidió intentar aplicar los conocimientos estadísticos, de probabilidad y de procesamiento de datos aprendidos en asignaturas del grado de Sistemas de Telecomunicación. De tal manera, se intentó buscar una conciliación entre las prácticas realizadas y los conceptos aprendidos para buscar la solución a un problema que resultaba de interés a la empresa Audiotec S, A.

Siguiendo esta línea, se buscaba desarrollar un método propio de predicción de niveles sonoros utilizando únicamente un parámetro. Analizando el desarrollo de esta idea se presentaba un problema, ya que era necesario obtener ese parámetro y para ello se requería de las estaciones de medida por lo que la problemática de la obtención de datos seguía existiendo. Por tanto, se planteó el objetivo de predecir los valores del ruido realizando una clasificación de los tipos de vía y utilizando como referencia inicial el método simplificado mencionado anteriormente. De esta manera se podrían conseguir unos valores aproximados de los niveles de presión sonora de las vías de una determinada ciudad antes de realizar el mapa de ruido para conocer en qué puntos puede ser más interesante instalar las estaciones de medición.

Los principales objetivos planteados son los siguientes:

- Implementación de un modelo simplificado de predicción de ruido basado en un número reducido de parámetros.
- Análisis y obtención de datos referentes a varios puntos de medida de una zona urbana.
- Estudio sobre la influencia de los datos obtenidos en función de las franjas horarias: día, tarde y noche.
- Trabajo de documentación y estado del arte sobre los principales métodos de predicción de ruido existentes.
- Clasificación de las diferentes vías de tráfico rodado en función de las características que la definen.
- Aplicación del método simplificado a la clasificación de las vías, obteniendo un método no dependiente de ningún parámetro.

2. Conceptos del Ruido.

2.1.-Introducción

Para comprender qué es el ruido y la repercusión que tiene sobre la sociedad es necesario definir una serie de conceptos y parámetros. Además, es conveniente clasificar el ruido en función de características que lo definen, conocer la legislación vigente en España y los problemas que puede producir en nuestra salud un periodo prolongado de exposición al ruido.

Una vez conocidas estas definiciones, se analizan los principales modelos de predicción de ruido para el tráfico rodado de los vehículos y la problemática que conllevan, estableciendo así los objetivos principales de este Trabajo de Fin de Grado.

2.2.-Ruido

2.2.1.-¿Qué es el sonido?:

El sonido es aquella vibración de presión sonora que puede detectar el oído humano. Toda perturbación puntual en el aire se propaga en el mismo en forma de onda longitudinal, y ésta, al llegar al oído, produce la sensación del sonido. Para que se produzca un sonido es necesario disponer de un emisor o cuerpo vibrante, un medio elástico por el que se propaga la onda y un receptor capaz de captar las vibraciones [8].

Para entender qué es el sonido y cómo éste es recibido es necesario entender el funcionamiento del oído.

El oído humano está formado por 3 secciones de procesamiento del sonido. La primera corresponde a la parte exterior del oído, también conocido como Pináculo (Pinna) cuya función es captar el sonido y transmitirlo desde el exterior del oído hasta la parte media del mismo. La segunda sección corresponde a la parte media y está formada por la membrana del tímpano (Eardrum) y por los tres huesecillos: Martillo, Yunque y Estribo (Hammer, Anvil, Stirrup), su cometido es realizar una transformación de ondas acústicas a ondas de presión mecánica. Las ondas sonoras que llegan por la parte exterior del oído a través del pináculo provocan una vibración del tímpano lo que hace que éste se expanda y comprima produciendo unas ondas mecánicas que se propagan a través de la parte interna. La tercera sección correspondería a la parte interna del oído, formada por la cóclea y una serie de conexiones neuronales al nervio auditivo, su función es la de transmitir señales neuronales al cerebro [8].

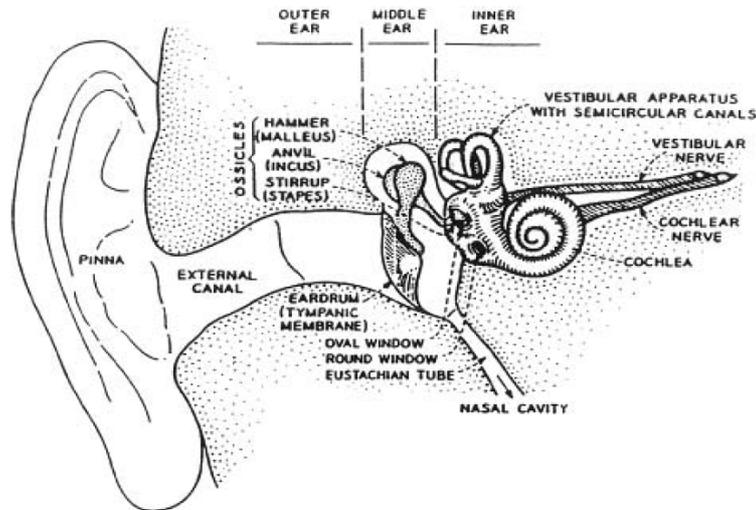


Figura 1: Secciones del oído humano.

En la figura 1 podemos ver las diferentes secciones del oído humano: parte exterior, parte media y parte interior, así como las distintas componentes que las forman.

2.2.2.-¿Qué es el ruido?

El ruido se puede considerar como un tipo de sonido que se caracteriza por resultar molesto o no deseado. Debido a su carácter tiene una terminología subjetiva dependiente del receptor ya que lo que para una persona puede ser considerado ruido quizá para otra no lo sea.

El nivel de presión sonora o SPL por sus siglas en inglés (Sound Pressure Level) es un parámetro que mide la intensidad del sonido, es decir, la presión sonora que se produce cuando un sonido se propaga. Normalmente el ruido va asociado a un nivel de presión sonora elevado que puede producir consecuencias perjudiciales para la salud [8].

Debido al carácter subjetivo del ruido, se establecen una serie de curvas en las que la sonoridad es constante para un rango de frecuencias. La sonoridad es una cualidad perceptiva del sonido directamente relacionada con la propiedad física del nivel de presión sonora. Está definido mediante la relación existente entre el nivel de presión sonora percibido por un tono a una frecuencia dada y la percepción del mismo tono a una frecuencia [8].

Las curvas en las que la sonoridad es constante en un rango de frecuencias reciben el nombre de curvas isofónicas y se muestran en la figura 2. Para su medida, se comparan sonidos a distintas frecuencias con un tono puro a 1000 Hz. Los fonios se definen como la unidad logarítmica con la que se indica la sonoridad con la que se percibe un sonido. Así, cada curva isofónica corresponde a un valor concreto en fonios. Por ejemplo, el punto a frecuencia de 100 Hz en la curva etiquetada como '50 phones' de la figura 1, se obtiene ajustando la potencia del tono de 100 Hz hasta que suena tan fuerte como un tono de 1000 Hz que tiene un nivel de presión sonora de 50 dB [8].

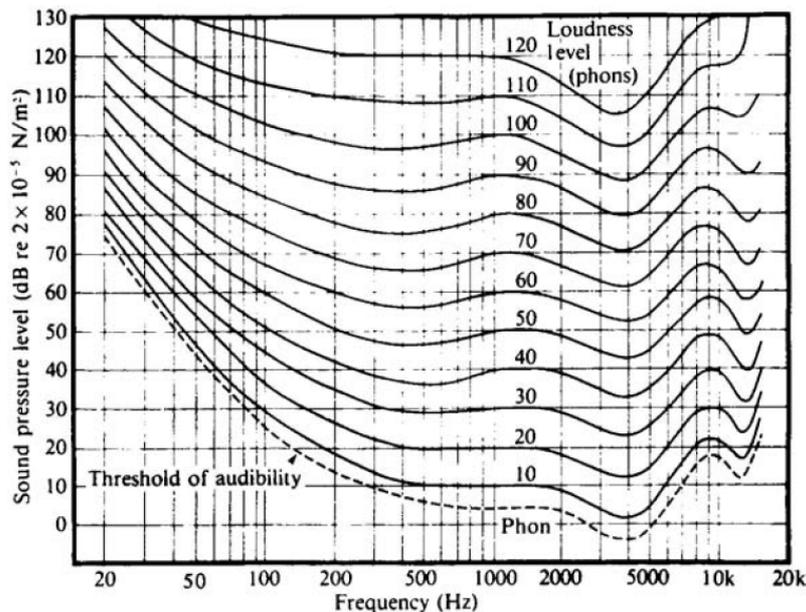


Figura 2: Nivel de volumen para el oído humano.

En la figura 2 podemos observar la relación entre las curvas que representan el mismo nivel de sonoridad a distintas frecuencias con el nivel de presión sonora [8].

El oído humano no percibe igual las distintas frecuencias y tiene un rango que oscila entre los 20 Hz y los 20 KHz, es por ello por lo que se necesita aproximar las unidades a las características físicas del oído humano y por tanto es necesario aproximar los decibelios ponderando las unidades en función de las curvas isofónicas.

A lo largo de este trabajo trabajaremos siempre con decibelios ponderados, en concreto con la curva de ponderación A, que es aquella que sigue la curva isofónica de 40 fonios.

2.2.3.-Tipos de ruido

Podemos clasificar el ruido en función de los principales parámetros que lo definen:

- Ruido en frecuencia: Es una medida que nos indica la variación de la señal al aumentar o disminuir su frecuencia. Nos permite clasificar el ruido en distintos colores en función de la dependencia que sufre la señal con respecto a la frecuencia.
 - Ruido blanco: Su densidad espectral de potencia es constante, es decir, plana. La señal contiene todas las frecuencias y todas ellas tienen la misma potencia dentro de la banda de frecuencias de interés.
 - Ruido rosa: Su densidad espectral de potencia es inversamente proporcional a la frecuencia, o lo que es lo mismo, decae 3 dB por octava al aumentar el valor de la frecuencia. Todas las bandas de octava tienen el mismo nivel sonoro, ya que el ancho de banda aumenta en las bandas de octava de frecuencia superior. Este ruido se utiliza para hacer mediciones acústicas y calibración de material sonoro tanto espectralmente como para calcular el tiempo de reverberación para cada frecuencia.

- Ruido marrón: Su densidad espectral de potencia es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia, o lo que es lo mismo, decae 6 dB por octava al aumentar el valor de la frecuencia.
Este ruido se utiliza para estudiar el movimiento browniano, que es el movimiento aleatorio que se da en las partículas que se encuentran en un medio fluido como resultado de la colisión de las moléculas.
- Ruido Azul: Su densidad espectral de potencia es directamente proporcional a la frecuencia, o lo que es lo mismo, aumenta 3 dB por octava al aumentar el valor de la frecuencia.
Este ruido se utiliza en técnicas de tramado, es decir, computación gráfica para crear la ilusión de profundidad de color con un rango de colores limitado.
- Ruido Violeta: Su densidad espectral de potencia es directamente proporcional al cuadrado de la frecuencia, o lo que es lo mismo, aumenta 6 dB por octava al aumentar el valor de la frecuencia.
Este ruido se utiliza en sonoterapia para tratar el tinnitus que es la percepción de ruidos en la cabeza que son creados por la persona que padece esta patología.
También se puede utilizar para reducir los errores de cuantificación añadiendo el ruido a la señal original, por ejemplo, para pasar de una resolución de 24 a 16 bits. Muy utilizado en archivos de audio para grabar CDS [9].

Todos los ruidos de color (rosa, marrón, azul y violeta) pueden ser obtenidos mediante la aplicación de un filtrado, específico para cada color, al ruido blanco.

- Análisis en amplitud: Es una medida de la variación máxima que sufre la onda en su desplazamiento. Es la distancia entre el punto más alejado de la onda y el punto medio. Tiene especial relevancia porque nos permite clasificar las señales según su comportamiento estadístico:
 - Ruido aleatorio: La amplitud de estas señales es completamente imprevisible, es decir, fluctúa mucho respecto a su comportamiento. Los valores futuros no pueden ser predichos mediante los valores pasados, solo se pueden realizar promedios de conjuntos de señales con similares características. Además, su espectro es plano. Un ejemplo de este tipo es el ruido de tráfico o el producido por una actividad musical.
 - Ruido pseudoaleatorio: Son aquellas señales que parecen aleatorias, pero realmente no lo son. Sus valores no muestran ningún patrón desde un punto de vista estadístico, pero han sido generadas mediante un algoritmo determinista en el que unas condiciones iniciales producen el mismo resultado. Tienen una entropía (parámetro que mide la incertidumbre de una fuente de información) menor que las señales aleatorias. Un ejemplo de este tipo es el ruido generado para realizar las mediciones acústicas de un espacio.
 - Ruido impulsivas: Son aquellas señales que entregan toda la energía en un periodo de tiempo corto. Tienen un espectro plano, directamente proporcional a la duración del impulso. Un ejemplo de este tipo es el ruido generado por un martillazo o un disparo.

- **Análisis en el tiempo:** Se trata de analizar la variación de la señal acústica respecto al tiempo, es decir, la evolución que sufre la onda propagada en distintos instantes temporales. En función de este análisis y el tipo de ruido que se quiera analizar, se aplica un método u otro dependiendo de la ordenanza vigente.
 - **Ruido estable:** si las fluctuaciones del nivel sonoro son muy pequeñas en el tiempo. Suele ser característico de motores eléctricos, bombas, engranajes...
 - **Ruido fluctuante:** Si el nivel varía continuamente y de forma significativa en el tiempo. Es el caso de ruidos de actividades dedicadas a la industria.
 - **Ruido intermitente:** Cuando el nivel de ruido varía bruscamente entre el ruido de fondo y un valor superior en el cual se mantiene por lo menos un segundo. Es un ruido característico de compresores durante el periodo de carga, o bien de equipos automáticos con distintos ciclos evolutivos.
 - **Ruido impulsivo:** Está formado por uno o más impulsos de energía acústica, cada uno de los cuales tiene una duración en el tiempo inferior a un segundo. Ejemplos de este tipo de ruido son las prensas, remachadoras...
 - **Ruido Cuasi-estable:** Está formado por un conjunto de impulsos con una amplitud similar entre ellos e intervalos inferiores a 0,2 segundos de duración [10].

2.2.4.-Focos sonoros

En los centros urbanos existen focos sonoros de índoles diferentes. Los focos sonoros son aquellos puntos de emisión en los que se produce un ruido significativo. A continuación, se detallan los focos sonoros más importantes de las zonas urbanas:

- **Ruido producido por la acumulación de personas en un área reducida:** En este punto encontraríamos el ruido producido por la presencia de un gran número de ciudadanos en una ubicación concreta, ya sea en zonas de ocio nocturno, festejo de fiestas, celebración de encuentros deportivos o culturales... Este tipo de ruido es puntual, ya que no se acumula ni se mantiene en el tiempo. El control se produce por parte de las autoridades limitando la celebración con unos horarios concretos para facilitar la convivencia. Además, los puntos de encuentro habituales de celebraciones deportivas suelen construirse en el exterior de las ciudades, especialmente en zonas no habitadas.
- **Ruido producido por actividades comerciales:** Es el ruido producido por el desarrollo de una actividad comercial. En función del tipo de actividad que se desarrolle o del sector al que pertenezca la misma, se establecen distintos valores límite que no se pueden superar. También se establecen zonas especiales donde los valores de recepción del ruido han de ser menores garantizando así la convivencia entre el desarrollo normal de la actividad con las zonas residenciales o especiales. Éstos valores umbrales se especifican en el apartado 2.2.5.
- **Ruido debido a Espectáculos musicales:** Se trata de un ruido puntual con motivo de alguna celebración o festival musical. Produce grandes niveles de ruido y requiere de un permiso especial expedido por la administración local pertinente. Para la celebración de conciertos con motivo de un acto concreto se procura que tengan una duración reducida y que finalicen a una hora prudencial para no molestar a

convivencia con los vecinos. Para la celebración de festivales musicales se buscan ubicaciones apartadas de las zonas residenciales y protegidas y además están controladas por las autoridades locales.

- Ruido debido al tráfico: Se trata de uno de los principales problemas de ruido en las zonas urbanas debido a sus altos valores de emisión acústica y la prolongación del ruido a lo largo del tiempo. El avance de las nuevas tecnologías, la expansión del sector automovilístico y las ayudas del gobierno a la adquisición de vehículos de motor han tenido como consecuencia un gran número de vehículos en las carreteras. Podemos clasificar 3 tipos diferentes de ruido debidos a un vehículo motorizado:
 - El ruido mecánico: Producido principalmente por el ruido que genera el motor, especialmente al arrancar, pero también importante en la aceleración y desaceleración del vehículo. Entrarían en este punto el ruido debido al sistema de climatización y ventilación y el pitido producido por los conductores. Esta situación es especialmente relevante cuando se producen atascos, ya que se acumula un gran número de vehículos que se desplazan a velocidades reducidas con continuos acelerones y frenazos. No se trata de un factor especialmente importante ya que las técnicas desarrolladas por los principales fabricantes han conseguido disminuir de manera muy significativa los valores producidos por este tipo de ruido, además, la manipulación del sistema del tubo de escape u otros factores que pudieran producir mayores niveles se controla a través de la Inspección Técnica de Vehículos. No obstante, las motocicletas son un punto a tener en cuenta en este apartado, ya que está demostrado que es el vehículo que mayor ruido mecánico produce del parque móvil.
 - Ruido de fricción: Dentro del ruido de tráfico es el más relevante, a menudo se piensa que el ruido del motor es el que mayor nivel de contaminación genera, si bien, esta afirmación no es cierta. Los mayores niveles de ruido son producidos por la fricción generada entre las ruedas de los vehículos y el pavimento asfaltado por el que circulan. De todos los tipos de ruido mencionados anteriormente, éste es el que mayor contribución genera y también el que más repercusiones tiene en el ciudadano, tanto sociales como sanitarias. Los vehículos pesados son los que mayor ruido de rodadura producen y por tanto mayores niveles de presión sonora, por ello está prohibido su circulación por las vías locales de las ciudades. Las soluciones son paliativas y a menudo presentan un problema. La más utilizada es la instalación de pantallas de ruido que se pueden clasificar en función de los materiales con los que están construidas, su instalación no es siempre viable ya que introducen problemas estéticos y un requerimiento mínimo de espacio y dimensiones que en el interior de las ciudades no pueden cumplirse. Existen otras alternativas que se basan en la utilización de materiales absorbentes en el asfalto con el objetivo de reducir la fricción producida por la rodadura. En este contexto destaca el proyecto Persuade, que creó un nuevo material denominado PERS que además de ser absorbente era elástico, logrando reducir hasta 12 decibelios las emisiones producidas y basado en materiales reciclados procedentes de neumáticos viejos.

- Ruido aerodinámico: Producido por el contacto del vehículo con el espacio libre, es directamente proporcional a la velocidad. Se trata de un ruido prácticamente despreciable en núcleos urbanos que se circula a velocidades reducidas (en torno a 50 km/h). En las autopistas y autovías es un ruido importante, pero si lo comparamos con el ruido de fricción sigue siendo despreciable. Es notable mencionarlo especialmente para los conductores y pasajeros de motocicletas, que no cuentan con un habitáculo que aisle el ruido. En este caso concreto para estos vehículos, el ruido aerodinámico en vías de velocidad elevada (en torno a 120 km/h) se convierte en el tipo de ruido más importante [10].

2.3.-Legislación

Con el ánimo de realizar un control exhaustivo de los niveles de ruido por parte de las administraciones, nació la LEY 37/2003, de 17 de noviembre, del Ruido. Se trata de la primera vez que se crea una legislación sobre el ruido en nuestro país. Surge para “prevenir, vigilar y reducir la contaminación acústica, para evitar y reducir los daños que de la misma pueden derivarse para la salud humana, los bienes o el medio ambiente” [11].

El problema de la ley anterior es que no define con claridad los valores límite de cada tipo de actividad, sino que considera que los valores umbrales de emisión e inmisión acústica serán determinados por el Gobierno y reducidos en el caso de que su disminución no implique costes excesivos. Además, es el Gobierno quien se encarga de realizar la reducción. Establece por tanto una serie de recomendaciones para aplicar desde las comunidades autónomas, como unas sanciones si se producen daños en el medio ambiente o se demuestra que afectan gravemente a la salud. Al tratarse de una normativa tan ambigua, los resultados no fueron los esperados ya que en la práctica no actuaba como legislación que evitara la producción de contaminación acústica, sino que actuaba una vez producida la misma. Fue necesario por tanto una nueva legislación que regulara el ruido producido para cada tipo de actividad comercial, así se aprobó el REAL DECRETO 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17, de noviembre, del Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas [12]. En este documento se obliga a las actividades a cumplir con unos valores umbrales máximos en función de ciertas características. Además, se establece una exigencia de limitador sonoro con transmisión telemática en actividades con música amplificadas. Así, los niveles de ruido permitidos en zonas de suelo industrial son mayores que los permitidos en zonas residenciales, en zonas hospitalarias... Además, se produce una clasificación de las actividades. Por ejemplo, las exigencias a los bares musicales o bares de conciertos son mayores que a una librería. Todo ello se detalla en el documento consiguiendo reducir este tipo de ruido de manera considerable. A raíz de esta publicación empezaron a detallarse ordenanzas municipales en la mayoría de las provincias, siempre marcando unos límites por debajo de los establecidos en el Real Decreto.

Tipo de área acústica	Índices de ruido		
	L_d	L_e	L_n
e Sectores del territorio con predominio de uso sanitario, docente y cultural que requiera una especial protección contra la contaminación acústica.	60	60	50
a Sectores del territorio con predominio de uso residencial.	65	65	55
d Sectores del territorio con predominio de uso terciario distinto del contemplado en c.	70	70	65
c Sectores del territorio con predominio de suelo de uso recreativo y de espectáculos.	73	73	63
b Sectores del territorio con predominio de suelo de uso industrial.	75	75	65
f Sectores del territorio afectados a sistemas generales de infraestructuras de transporte, u otros equipamientos públicos que los reclamen.	Sin determinar	Sin determinar	Sin determinar

Tabla 1: Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables a áreas urbanizadas [12].

Uso del edificio	Tipo de Recinto	Índices de ruido		
		L_d	L_e	L_n
Vivienda o uso residencial	Estancias	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Hospitalario	Zonas de estancia	45	45	35
	Dormitorios	40	40	30
Educativo o cultural	Aulas	40	40	40
	Salas de lectura	35	35	35

Tabla 2: Objetivos de calidad acústica para ruido aplicables al espacio interior habitable de edificaciones destinadas a vivienda, usos residenciales, hospitalarios, educativos o culturales [12].

En la tabla 1 se detallan los índices de ruido máximos en el periodo de día, tarde y noche para diferentes tipos de áreas acústicas en función de la actividad que se desarrolle. Mientras que en la tabla 2 se muestran los valores máximos en recepción en el interior de los edificios en el periodo de día, tarde y noche en función del uso del edificio; ya sea residencial, hospitalario o educativo.

A lo largo de los años se han ido creando diferentes modelos de predicción elaborados por diferentes países, esto se debe a la falta de legislación global y la tardía aparición de leyes que regulen la presencia de ruido. La legislación española establece en el Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre, Consolidado a 24/10/2007 que desarrolla la LEY 37/2003, de 17/11/2003

del Ruido, en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental, que <<el método nacional de cálculo es el francés NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPC-CSTB) mencionado en la Resolución de 5 de mayo de 1995, relativa al ruido de las infraestructuras viarias, Diario Oficial de 10 de mayo de 1995, artículo 6 y en norma Francesa XPS 31-133, por lo que se refiere a los datos de entrada sobre emisión, esos documentos se remiten a la Guía del ruido de los transportes terrestres, apartado previsión de niveles sonoros, CETUR 1980>> por lo que para la realización de mapas de ruido es obligatorio utilizar el método de predicción de ruido Francés NMPB-Routes [11] [12].

2.4.-Molestias derivadas del ruido

Como hemos visto anteriormente, el ruido, y más en concreto la contaminación acústica, tiene como consecuencia una serie de efectos adversos sobre la salud. Diversos estudios demuestran las consecuencias del ruido para la salud: interferencia en la comunicación oral, trastorno del sueño y reposo, efectos sobre el comportamiento e interferencias en actividades. A continuación, se detallan los principales efectos que produce una exposición prolongada a un ruido elevado:

- Efectos sobre la comunicación oral: La deficiencia auditiva se define como un incremento en el umbral de audición que puede estar acompañada por un zumbido de oídos. Ésta afecta predominantemente a la banda de 3000-6000 Hz. Se trata del riesgo ocupacional irreversible más frecuente a nivel mundial y se calcula que 120 millones de personas sufren deficiencias auditivas. Hay 3 factores importantes a tener en cuenta que influyen en el deterioro auditivo; el número de años de exposición al ruido; la sensibilidad del individuo; y el parámetro LA_{eq} . Se establece el límite de LA_{eq} en 70 dBA para considerar la aparición de deficiencias en el funcionamiento del oído en un tiempo de exposición prolongado (varias decenas de años). El límite permitido es de 140 dB.

La principal consecuencia que conlleva la deficiencia auditiva es la imposibilidad de comunicación debido a la dificultad para escuchar, está considerado como una limitación social grave y es notable con un decremento de 10 dB en rango de frecuencias 2000-4000 Hz.

- Efectos sobre el sueño: El ruido ambiental puede causar efectos primarios durante el sueño y efectos secundarios que se observan al siguiente día. Los efectos primarios del trastorno del sueño son dificultad para conciliar el sueño, interrupción del sueño, alteración de la profundidad del sueño, cambios en la presión arterial y en la frecuencia cardiaca, incremento del pulso, vasoconstricción (variación en la respiración) y arritmia cardiaca. Los efectos secundarios o posteriores en el día siguiente son percepción de menor calidad de sueño, fatiga, depresión y reducción del rendimiento. El límite máximo a partir del cual se considera que no se produce un descanso apropiado se fija en 30 dBA.
- Efectos sobre las funciones fisiológicas: La exposición al ruido de forma permanente puede tener un impacto importante sobre las funciones fisiológicas. Los individuos susceptibles a niveles de presión sonora elevados pueden desarrollar hipertensión o cardiopatía. Estos efectos aparecen con tiempos de exposición prolongados en el tiempo, se pueden apreciar a partir de los 5 años de exposición. La cardiopatía

isquémica es más sensible a exposiciones prolongadas que la hipertensión. El límite para periodos prolongados de exposición a ruidos se establece en 65 dBA.

- Efectos sobre la salud mental: El ruido no causa directamente enfermedades mentales, pero se asume que puede acelerar e intensificar el desarrollo de trastornos mentales, si bien, aún no se ha demostrado. Numerosos médicos asocian una exposición prolongada al ruido con el incremento de internamientos hospitalarios, uso de medicamentos y síntomas psiquiátricos.
- Efectos sobre el rendimiento: Se ha demostrado que el ruido perjudica el rendimiento de los procesos cognitivos, principalmente en trabajadores y niños. Los más afectados son la lectura, la atención y memorización. En las escuelas cercanas a aeropuertos, los niños expuestos crónicamente al ruido de aviones han desarrollado problemas en la adquisición y comprensión de la lectura, en la persistencia para completar rompecabezas y en la capacidad de motivación. Presentan alteraciones en el sistema nervioso simpático con mayores niveles en la hormona del estrés y en la presión sanguínea [10] [13].

2.5.-Mapas de ruido

Según la Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del consejo sobre evaluación y gestión del ruido ambiental, se define el mapa de ruido como “Mapa diseñado 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” [14]. De esta afirmación podemos concluir que los mapas de ruido son herramientas para combatir la presencia de contaminación acústica. Se trata de un instrumento de medida para evaluar la exposición al ruido y obtener información sobre los niveles sonoros.

Existen 4 tipos de mapas de ruido:

- Aglomeración: Relativo a aquel territorio con más de 100.000 habitantes residentes en una zona urbanizada. Pueden pertenecer a un único municipio o varios municipios.
- Gran eje viario: Relativo a aquellas carreteras con un tránsito de vehículos de al menos 3 millones anuales.
- Gran eje ferroviario: Relativo a un área ferroviaria con un tránsito de trenes de al menos 30000 anuales.
- Gran aeropuerto: Relativo a aeropuertos civiles con un tráfico superior a 50.000 movimientos anuales [15].

En el presente trabajo nos centraremos en el mapa de ruido tipo Aglomeración, que es obligatorio realizar en zonas municipales de más de 100.000 residentes y su actualización debe ser como máximo en 5 años, siendo recomendable ser realizado en municipios con una población menor.

Los principales parámetros utilizados para la realización de los mapas de ruido son L_{den} que es el parámetro correspondiente al nivel sonoro día, tarde y noche; L_d que es el parámetro correspondiente al nivel sonoro de día; L_e correspondiente al periodo de tarde y L_n correspondiente al periodo de noche. Además, existen otros parámetros de

interés como el LA_{eq24} que es el nivel de presión sonora continuo equivalente ponderado con la ponderación A en un periodo de 24 horas [15].

Los mapas de ruido han de tener dos partes diferentes:

- a. Mapa de niveles sonoros: Contiene las líneas isófonas, que son líneas que unen puntos cuyos niveles de presión sonora son iguales. Halladas mediante el resultado obtenido por estaciones sonoras en determinados puntos del área a analizar.
- b. Mapa de exposición al ruido: Contiene a los edificios, viviendas, locales, población, número de vehículos medio que circula por la vía en un día (IMD), velocidad máxima de la vía, etc.

Los principales objetivos de un mapa de ruido son:

- Analizar la exposición del ruido en un área concreta.
- Realizar predicciones globales para un área concreta.
- Llevar a cabo medidas correctoras y planes para disminuir la presencia de contaminación acústica [15] [16].

2.6.-Estado del ARTE

A medida que han aumentado los núcleos urbanos, la contaminación acústica ha supuesto una gran molestia para la sociedad. Como se menciona en el apartado 2.2.4, el ruido producido por el tráfico es el que mayores problemas de malestar genera y es por ello por lo que surge la necesidad de crear métodos de predicción de emisiones acústicas para evaluar y diseñar los proyectos de nueva construcción, así como las medidas a tomar para reducir los marcadores.

Los métodos de predicción de ruido contemplan los tres tipos de ruido debidos al tráfico mencionados en el apartado 2.2.4: Mecánico, de fricción y aerodinámico. Al igual que los vehículos y las vías han sufrido una evolución en el tiempo adaptándose a las diferentes necesidades y perfeccionándose en función de los parámetros analizados.

En los años 70 surgieron en Francia los primeros mapas de ruido, posteriormente en 1975 se crea el primer método de predicción de niveles de ruido: CORTN (Department of Transport Welsh Office Calculation of Road Traffic Noise) y un año más tarde aparece en Estados Unidos el modelo FHWA (Federal Highway Administration).

En 1977 se publicó "Traffic noise prediction model at gradients of the highway". A partir de estos modelos se empezaron a desarrollar otros en distintos países. Una gran parte de estos modelos están enfocados al análisis matemático. En general, la predicción es poco fiable ya que el estudio es una tarea compleja, existen numerosos factores a tener en cuenta ajenos al propio vehículo y evoluciones continuas en el sector. Algunos ejemplos de esto son la presencia de motocicletas, vehículos eléctricos, la influencia de la temperatura, la pendiente de la vía, la anchura de la calle... Por no mencionar el elevado coste que implica la obtención de un gran número de datos procedentes de distintos puntos, es por ello por lo que la mayoría de métodos basa sus datos en una base de datos relativamente pequeña.

No existe un modelo de referencia, desde "European Union Law" en el Documento 32003H0613 se recomienda mediante la "Recomendación de la Comisión, de 6 de agosto de

2003, relativa a las Orientaciones sobre los métodos de cálculo provisionales revisados para el ruido industrial, procedente de aeronaves, tráfico rodado y ferroviario, y los datos de emisiones correspondientes” que el método para el tráfico rodado es el francés NMPB-Routes. Por lo que los Países que no tienen un método propio suelen adoptar éste.

Es importante tener en cuenta que la mayoría de métodos se basan en condiciones ideales. Realizan una serie de suposiciones que no se corresponden a la realidad, suponen un tránsito de vehículos en vías con longitud infinita y una propagación del sonido libre, es decir, no asumen la presencia de reflexiones. Suponen una fuente de emisión lineal en la que las ondas acústicas producidas por la misma se generan en un punto y se propaga directamente hasta el receptor. Esta suposición se puede asumir siempre y cuando el tamaño de la fuente sea mucho menor que la distancia entre emisor y receptor. No siempre cumplimos con esta premisa por lo que es importante considerar en qué situaciones no se cumplirá con este prerrequisito.

Los modelos desarrollados tienen en cuenta la propagación del sonido, que se basa en las siguientes condiciones atmosféricas:

- Condiciones homogéneas: La energía acústica se propaga en línea recta.
- Condiciones favorables: Se produce una disminución de la energía propagada al suelo y al receptor llega un nivel acústico superior que en las condiciones homogéneas.

Estas condiciones se asumen despreciables para distancias menores a 100 metros.

Existen dos factores que afectan a la velocidad del sonido en función de las condiciones atmosféricas:

- Factores térmicos: Los cambios térmicos producidos entre el suelo y la primera capa de la atmósfera producen un cambio en la temperatura directamente proporcional a la altura que produce una variación en la velocidad del sonido.
- Factores aerodinámicos: En función de la rugosidad del suelo, la velocidad del viento varía con la altura.

A continuación, se muestran los modelos principales métodos de predicción de niveles sonoros:

2.6.1.-Método Francés NMPB-Routes-96

Se asume que los vehículos producen energía de forma individual, a partir de estas emisiones se predicen los niveles de emisión acústica. Se asigna una potencia en función de una serie de características; ya sea por longitud de la vía; velocidad u otras variables de la circulación del vehículo.

Actualizado por última vez en 2008, es un modelo desarrollado por SETRA, LCPC y LRPC. Está formado por dos submodelos:

- Modelo Fuente: El modelo que predice la emisión sonora del tráfico.
- Modelo de propagación: El modelo que predice la propagación de la emisión hasta el receptor.

Para el cálculo de los niveles, sigue los siguientes pasos:

1. Descomposición de fuentes de ruido en fuentes puntuales.
2. Obtención de la potencia acústica de cada punto de medida.
3. Camino de propagación entre la fuente y el receptor: rayo directo, reflejado y difractado.
4. Cálculo de atenuaciones en condiciones favorables, homogéneas y a largo plazo.
5. Cálculo de atenuaciones por las condiciones de contorno.
6. Suma del nivel acústico a largo plazo de cada punto.

Sus principales características son:

- Parámetro utilizado: L_{eq} (dBA) durante 1 hora.
- Distancia empleada: 7.5 metros.
- Altura empleada: 4 metros.
- Tipo de fuente: lineal [3].
- Fórmula:

$$(1) LA_{wi}(dBA) = 10 \log((E_{vl} + 10 \log(Qvl)) + (E_{vp} + 10 \log(Qvp))) + 10 \log li + R(j)$$

Siendo

- E_{vl} : Nivel de emisión de ruido en vehículos ligeros.

- E_{vp} : Nivel de emisión de ruido en vehículos pesados.

- Q_{vl} : Flujo de vehículos ligeros.

- Q_{vp} : Flujo de vehículos pesados.

- Li : longitud de la fuente lineal.

- $R(j)$ es el valor del espectro del tráfico normalizado a 0 dB con ponderación A en función del tipo de suelo.

Se considera vehículos ligeros aquellos cuyo peso es inferior a 3,5 toneladas y vehículos pesados aquellos que exceden este peso.

También se produce una clasificación en función del tipo de circulación. Encontramos una circulación continua, acelerada o desacelerada.

En función de la inclinación puede ser horizontal si la inclinación es inferior al 2 %; ascendente si es superior al 2% con dirección ascendente y descendente si es superior al 2% con dirección descendente. Esta clasificación es importante a la hora de realizar correcciones de los niveles acústicos [17] [18].

Se establece un parámetro importante que es el L_{max} , es el nivel sonoro de ruido máximo:

$$(2) LA_{max} = 10 \log(10^{(0.1 * L_{rodadura})} + 10^{(0.1 * L_{motor})})$$

-*Lrodadura*: Parámetro que caracteriza la rodadura del vehículo y viene dado por la siguiente tabla:

	Vi	Vp
R1	$49.4+21\log(v/90)$	$59.1+20\log(v/80)$
R2	$53.4+20.1\log(v/90)$	$62.1+20\log(v/80)$
R3	$55.9+21.4\log(v/90)$	$63.1+20\log(v/80)$

Tabla 3: Cálculo de *Lrodadura* [19].

Además, se aplica una corrección por el parámetro de rodadura:

	Vi	Vp
R1	$0.5(a-2)$	$0.3(a-2)$
R2	$0.25(a-2)$	$0.15(a-2)$
R3	$0.2(a-2)$	$0.12(a-2)$

Tabla 4: Corrección en función de la rodadura [19].

Definiendo los parámetros:

-a: número de años de antigüedad de la carretera.

-R1: Bajo ruido, asfalto de 0/6 y 0/10.

-R2: Ruido intermedio, mezcla fría y asfalto denso 0/10.

-R3: alto ruido, hormigón de cemento, asfalto 0/14.

-*Lmotor*: Parámetro que caracteriza el ruido producido por el motor del vehículo y viene dado por las siguientes tablas:

- Vehículo con velocidad constante:

Km/h	20-30	30-110	110-130
c	$36.7-10\log(v/90)$	$42.4+2\log(v/90)$	$40.7+21.3\log(v/90)$

Tabla 5: Cálculo de *Lmotor* para vehículo de velocidad constante [19].

- Vehículo acelerado:

Km/h	5-20	20-100	100-130
<i>Lmotor</i>	51.3	$46.1-10\log(v/90)$	$44.3+28.6\log(v/90)$

Tabla 6: Cálculo de *Lmotor* para vehículo acelerado [19].

- Vehículo desacelerado:

Km/h	5-10	10-25	25-80	80-110	110-130
<i>Lmotor</i>	$31.6-10\log(v/90)$	$49.4+8.7\log(v/90)$	$42.1-4.5\log(v/90)$	$42.4+2\log(v/90)$	$40.7+21.3\log(v/90)$

Tabla 7: Cálculo de *Lmotor* para vehículo desacelerado [19].

2.6.2.-FHWA Highway Traffic Noise Prediction Model

Se trata de uno de los modelos más antiguos para la estimación del ruido. Surgió en 1976 en Estados Unidos. Este modelo calcula las aportaciones de coches, camiones medios y camiones pesados estableciéndose como vehículos ligeros, medios y pesados. Para establecer esta diferencia considera que los vehículos ligeros son aquellos que tienen un peso menor a 4500 Kg, los medios corresponden a vehículos de 2 ejes y con un peso comprendido entre 4500 y 12000 Kg, los pesados son los que disponen de más de 2 ejes o exceden los 12000 Kg.

Predice la emisión acústica en función de la presencia de un solo vehículo en la vía para después realizar una emisión de tráfico global [17] [18].

Sus principales características son:

- Parámetro utilizado: L_{eq} (dBA) durante 1 hora.
- Distancia empleada: 15.2 metros.
- Altura empleada: 1 metros.
- Tipo de fuente: lineal.
- Escuela: 1 vehículo [3].
- Fórmula:

$$(3) L_{eq} = 10 \log(10^{(0.1 \cdot L_{eq}(d) \text{Ligero})} + 10^{(0.1 \cdot L_{eq}(d) \text{Mediano})} + 10^{(0.1 \cdot L_{eq}(d) \text{Pesado})})$$

$$(4) L_{eq}(d)i = (L_0)i + (\Delta_{\text{tráfico}})i + (\Delta_{\text{distancia}})i + (\Delta_{\text{pendiente}})i + (\Delta_{\text{segmento}})i$$

Siendo

-i Ligero, Mediano o Pesado.

-v la velocidad promedio.

-(L_0)_{Ligero} es el flujo de tráfico debido a vehículos ligeros.

$$(5)(L_0)_{\text{Ligero}} = -2.4 + 38.1 \log(v)$$

-(L_0)_{Mediano} es el flujo de tráfico debido a vehículos Medianos.

$$(6)(L_0)_{\text{Mediano}} = 16.4 + 33.9 \log(v)$$

-(L_0)_{Pesados} es el flujo de tráfico debido a vehículos Pesados.

$$(7)(L_0)_{\text{Pesados}} = 38.5 + 24.6 \log(v)$$

-($\Delta_{\text{tráfico}}$)i es la corrección por el flujo de tráfico.

$$(8)(\Delta_{\text{tráfico}})i(dBA) = 10 \log\left(\frac{N_i * d_0}{V_i}\right) - 25.4$$

Siendo

- d_0 =15.2 metros

- N_i : intensidad del vehículo tipo i.

-Vi: velocidad promedio del vehículo tipo i.

-($\Delta_{\text{distancia}}$)i es la corrección por distancia para cada tipo de vehículo.

$$(9)(\Delta_{\text{distancia}})i = 10 * (1 + \alpha) * \log\left(\frac{d_0}{d}\right)$$

Siendo

-d₀=15.2 metros

-d: distancia del punto central de la vía al receptor.

-A: Factor de suelo (0.5 para suelo blando y 0 para suelo duro)

-($\Delta_{\text{pendiente}}$)i es la corrección en función de la pendiente de la vía. Se trata de valores constantes que se aplican en función de la siguiente tabla:

Pendiente (%)	($\Delta_{\text{pendiente}}$)i (dBA)
0-2	0
3-4	2
5-6	3
7	5

Tabla 8: Corrección en función de la pendiente de la vía [19].

-(Δ_{segmento})i es la corrección en función del ángulo visual:

$$(10)(\Delta_{\text{segmento}})blando = 1.2$$

$$(11)(\Delta_{\text{segmento}})duro = 10 \log\left(\frac{\rho}{180^\circ}\right)$$

Siendo

- ρ el ángulo observado [19].

2.6.3.-Nord 2000 de los países nórdicos

Al igual que el método francés NMPB-Routes, se basa en la idea de asignar un valor de potencia acústica en función de los parámetros mencionados. Se asume la contribución de cada vehículo con unos marcadores energéticos. Se publicó por primera vez en 1989 y actualizado en 2000.

Este método incluye dos submodelos:

- El modelo que predice la emisión sonora del tráfico.
- El modelo que predice la propagación de la emisión hasta el receptor.

Se basa en la teoría geométrica de rayos y la teoría de la difracción. Se subdivide el tipo de terreno en un número de segmentos en línea recta, caracterizándolo en función de su impedancia y la rigurosidad [17] [18].

Sus principales características son:

- Parámetro utilizado: L_{eq} (dBA) durante 1 hora.

- Distancia empleada: 10 metros.
- Tipo de fuente: Lineal.
- Altura empleada: 1.5 metros [3].
- Fórmula:

$$(12)L_{RE} = L_{Básico} + C_{vel} + C_{pav} + C_{tra}$$

Siendo

- $L_{Básico}$ se define con la siguiente fórmula:

$$(13)L_{Básico} = L_{AE, 10m} + 10 \log\left(\frac{Q_i}{T}\right)$$

- $L_{AE, 10m}$ es el nivel de ruido ponderado con la ponderación A, su unidad son los dBA y representa el nivel de presión sonora detectado en cada vehículo medido a 10 metros de distancia durante un tiempo de 60 minutos. En este método existe una distinción entre vehículos ligeros y vehículos pesados:

$$(14)L_{AE, 10m}(\text{ligeros}) = \begin{cases} 73.5 + 25 \log\left(\frac{v}{50}\right); & v > 40 \\ 71; & v \leq 40 \end{cases}$$

$$(15)L_{AE, 10m}(\text{pesados}) = \begin{cases} 81 + 30 \log\left(\frac{v}{50}\right); & v > 50 \\ 81; & v \leq 50 \end{cases}$$

- C_{vel} es un parámetro de corrección en función de la velocidad.

- C_{pav} es un parámetro de corrección en función del tipo de pavimento acústicamente hablando.

- C_{tra} es un parámetro de corrección en función de la cantidad de energía debida a la circulación del tráfico [19].

2.6.4.-Modelo CoRTN (Calculation of Road Traffic Noise)

Modelo creado en 1988 en Inglaterra. Se calculan dos niveles de ruido, cada uno a una distancia de 10 metros. El primero de los dos se calcula en un periodo de una hora mientras que el segundo promedia el valor en un tiempo de 18 horas.

Además, exige una distancia mínima a fachadas de 1 metro para desprestigiar las aportaciones recibidas por reflexiones del sonido al chocar con una vivienda [17] [18].

Características:

- Parámetro utilizado: L_{eq} (dBA) durante 1 hora y 18 horas.
- Distancia empleada: 10 metros.
- Altura empleada: 1.2 metros.
- Tipo de fuente: lineal.
- Escuela: carretera [3].
- Fórmula:

$$(16)L_{Aeqi, 1h} = 42.2 + 10 \log(I) + Cv + Cg + Ci, d + Cd + Cs + Ca$$

$$(17)L_{Aeqi, 18h} = 29.1 + 10 \log(I) + Cv + Cg + Ci, d + Cd + Cs + Ca$$

Siendo

-I es el número de vehículos por hora del tráfico de la vía.

-Cv es la corrección por velocidad:

$$(18)Cv = 33 \log\left(v + 40 + \frac{500}{v}\right) + 10 \log\left(1 + \frac{5 * P}{v}\right) - 68.8$$

Siendo P el porcentaje de vehículos pesados que circulan por la vía y v la velocidad promedio en Km/H.

-Cg es la corrección por gradiente:

$$(19)Cg = 0.3xG$$

Siendo

-G la pendiente de la vía en tanto por ciento.

-Ci,d es la corrección debida a un tránsito bajo de vehículos: Para considerar un tránsito de vehículos bajos se tiene que cumplir que el número de vehículos por hora sea inferior a 200 y que la distancia a la fuente sea inferior a 30 metros.

$$(20)Ci, d = -16.6 \log(D) * (\log(C))^2$$

Siendo

$$-D = \frac{30}{d}$$

Siendo

-d es la distancia de la fuente al receptor en metros y se define de la siguiente manera:

$$d = \sqrt{h^2 + (d1 + 3.5)^2}$$

-h es la altura entre el receptor y la fuente, sin contar la altura de esta última al suelo.

-d1 es la distancia entre el receptor y la fuente restando de la misma 3.5 metros.

$$-C = \frac{I}{200}$$

Siendo

-I es el flujo de vehículos medido en vehículos por hora.

-Cd es la corrección en función de la distancia:

$$(21)Cd = 10 \log\left(\frac{d}{13.5}\right)$$

-Cs es la corrección en función del tipo de suelo:

$$(22)Cs = \begin{cases} 5.2 * S * \log\left(\frac{3}{d+3.5}\right); & h < 0.75 \\ 5.2 \log\left(\frac{6H-1.5}{d+3.5}\right); & 0.75 \leq h \leq (d+5)/6 \\ 0; & h > (d+5)/6 \end{cases}$$

Siendo

- H: altura media entre la fuente y el receptor.

-S: Porcentaje de absorción del suelo dado por la siguiente tabla:

Porcentaje absorción	S
<10	0.00
10-39	0.25
40-59	0.50
60-89	0.75
>90	1.00

Tabla 9: Corrección en función del coeficiente de absorción del suelo [19].

-Ca es la corrección visual:

$$(23)Ca = 10 \log\left(\frac{\rho}{180^\circ}\right)$$

Siendo

-ρ el ángulo observado [19].

2.6.5.-Modelo RLS 90/DIN18005

Publicado por el Departamento de Construcción de Carreteras del ministerio de Alemania como sucesor del RLS 81. Establece unos niveles sonoros en recepción para horario diurno (6:00-22:00 horas) y nocturno (22:00-6:00 horas) para analizar el impacto del ruido. Utiliza la aproximación de fuente puntual para la propagación del sonido.

Está formado por dos submodelos:

- Un modelo que describe la fuente de ruido.
- Modelo de propagación del sonido [17] [18].

Características:

- Parámetro utilizado: L_{eq} (dBA) durante 1 hora.
- Distancia empleada: 25 metros.
- Altura empleada: 4 metros.

- Tipo de fuente: puntual.
- Escuela: carretera [3].
- Fórmula:

$$(24) Leq(dBA) = 10 \log \sum_{i=1}^N 10^{\frac{LME}{10}}$$

Siendo

$$(25) LME = L_{25} = +C_{vel} + C_{gradiente} + C_{Carpeta}$$

Siendo

-L₂₅: Nivel de ruido medido a 25 metros de distancia durante 1 hora.

$$(26) L_{25} = 37.3 + 10 \log [I * (1 + 0.082 * P)]$$

Siendo

-I: Cantidad de vehículos por hora que circulan por la vía

-P: Porcentaje de vehículos pesados.

-C_{vel} es la corrección por velocidad:

$$(27) C_{vel} = L_i - 37.3 + 10 \log \left[\frac{100 + (10^{0.1 * C}) * P}{100 + 8.23 * P} \right]$$

Siendo

$$(28) L_i = 27.8 + 10 \log [1 + (0.02 * V_i)^3]$$

$$(29) L_p = 23.1 + 12.5 \log [V_p]$$

$$30 \leq V_p \leq 130 \text{ Km/h}$$

$$30 \leq V_i \leq 80 \text{ Km/h}$$

$$C = L_p - L_i$$

-C_{gradiente} es la corrección por gradiente:

$$(30) C_{gradiente} = \begin{cases} 0.6 * |G| - 3; & G > 0.05 \\ 0; & G \leq 0.05 \end{cases}$$

Siendo

-G: Pendiente de la vía en tanto por ciento.

-C_{Carpeta} es la corrección por tipo de carpeta en función de la siguiente tabla:

CARPETA	VELOCIDAD			
	30	40	≥50	≥60
Asfalto hormigón (no ranurado)	0	0	0	0
Asfalto hormigón (ranurado)	1	1.5	2	2
Adoquines con textura suave	2	2.5	3	3
Adoquines con textura rígida	3	4.5	6	6
Hormigón con tratamiento escoba metal	1	1	1	1
Hormigón con envoltura de tela	0	0	-2	-2
Asfalto hormigón sin grietas	0	0	-2	-2
Asfalto poroso con más de 15% poros tipo 0/11	0	0	-4	-4
Asfalto poroso de más de 15% poros tipo 0/8	0	0	-5	-5

Tabla 10: Corrección por tipo de carpeta [19].

La propagación se define mediante la siguiente fórmula:

$$(31) LM = LME = +C_{long} + C_{ext} + C_{abs}$$

Siendo

- C_{long} : corrección por longitud de sección

$$(32) C_{Long} = 10 \log(r)$$

Siendo

-r la longitud de la sección contenida en el siguiente triángulo:

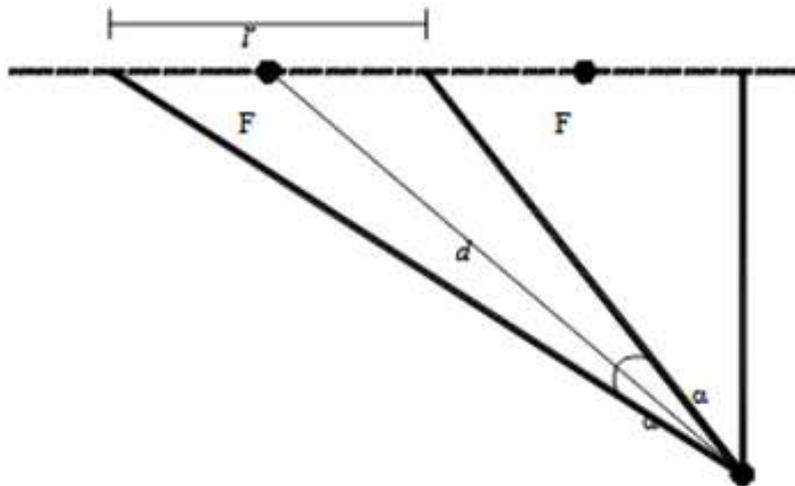


Figura 3: Corrección por longitud de sección [19].

- α es el ángulo de barrido, ha de ser inferior a 10° .

-F es la fuente puntual.

-Cext es la corrección en función de la absorción:

$$(33) C_{ext} = 11.2 - 20 \log(d) - \frac{d}{500}$$

Siendo

-D: Es la mitad de la distancia total de la sección al receptor.

-Cabs es la corrección por absorción

$$(34) C_{abs} = \frac{h}{d} * (34 + \frac{600}{d}) - 4.8$$

Siendo

-h: Altura media de propagación.

Al establecer la distancia de medida en 25 metros, no podemos considerar aquellas viviendas que están situadas en una distancia menor y este es un hecho que sucede en la realidad, por tanto, en este modelo, la elección de la distancia de medida no está muy bien planteada [19].

2.7.-Conclusiones

En este apartado se definen los conceptos principales del ruido que van a ser utilizados durante todo el trabajo de Fin de Grado. Es decir, las principales características que definen el ruido, los focos sonoros que más influyen en la percepción del ser humano y las consecuencias que puede suponer una recepción prolongada de altos niveles de ruido.

Se expone la legislación vigente en España, que establece unos límites máximos que no pueden ser superados en función del tipo de actividad desarrollada o del tipo de zona urbana en la que nos encontremos.

También se detallan los principales métodos de predicción de ruido utilizados en la actualidad en diferentes países para tener un concepto previo de los modelos ya existentes. En ellos se detallan las fórmulas y correcciones utilizadas por cada uno de ellos.

El objetivo de este apartado es definir los conceptos técnicos que posteriormente van a ser utilizados además de definir los modelos de predicción de ruido más importantes, que nos permiten obtener una idea de los principales parámetros utilizados en cada caso concreto.

3.Datos

3.1.-Introducción

En este bloque se van a detallar los datos utilizados para desarrollar el método de predicción de ruido. Se exponen los parámetros para distintas franjas horarias. Se busca analizar el grado de influencia de los datos en los resultados obtenidos. El análisis detallado del grado de influencia de cada parámetro se realiza en el apartado 4.2.

Los métodos de predicción de ruido del apartado 2.6 utilizan como referencia la mayoría de los parámetros analizados en este bloque para lograr una gran precisión. La reducción del número de parámetros utilizados en la obtención de las fórmulas simplificaría los cálculos y mejoraría la carga computacional.

En el apartado 1.3 se detallan las herramientas utilizadas. A continuación, se muestran los datos obtenidos por cada una de las herramientas:

- Estación de medida: Miden el LA_{eq} (dBA) durante 5 segundos cada hora todos los días durante el periodo de un año. Estas estaciones se colocan en diferentes puntos de las ciudades y a través de ellas se obtiene el valor acústico en dicho punto. Este valor es el resultado que queremos obtener y por tanto resulta de relevancia para desarrollar el método.
- ARCGIS: Es una gran fuente de información que permite visualizar diferentes datos de interés para ser comparados con el valor acústico obtenido por las estaciones de medida. Algunos de estos parámetros son: altura de los edificios, tipo de asfalto, velocidad máxima de la vía, número de vehículos ligeros y pesados en circulación... Además, permite a través de sus capas cruzar los parámetros mencionados con los puntos analizados por las estaciones de medida. Por lo que es posible obtener los valores concretos de los parámetros en los puntos analizados [4].
- SPSS: Este programa nos permite analizar todos los parámetros obtenidos a partir de ARCGIS de tal forma que podemos estudiar estadísticamente la influencia que estos tienen en los resultados acústicos de las estaciones de medida. Permite además obtener fórmulas matemáticas dependientes de los datos obtenidos mediante ARCGIS, por lo que se puede establecer una relación entre los dos puntos anteriores. Este análisis se realiza en el bloque 4 [5].
- MATLAB: Permite mostrar a través de su interfaz gráfica (GUI) todos los datos y resultados anteriormente mencionados. El código se encuentra en el Anexo I [6].
- EXCEL: A través de sus hojas de cálculo, se puede estudiar la diferencia entre los valores obtenidos mediante las estaciones de medida y los calculados mediante la utilización de SPSS calculando el error cometido entre ambos. Este análisis se realiza en el bloque 4 [7].

3.2.-Parámetros

Para la realización del trabajo es necesario disponer de una gran base de datos. Cuanto mayor sea ésta, mejor aproximación se logrará y por tanto mayor precisión y menor porcentaje de error.

A continuación, se detallan los distintos parámetros obtenidos mediante ARCGIS. Además, se establece una clasificación de las vías en función de su tipo, la forma y la franja horaria. Así, se pueden aplicar los datos a cada tipo de clasificación:

- Tipo de vía: Encontramos 3 tipos diferentes de vía en función del número de vehículos que circulan por la misma, la velocidad máxima, número de carriles y la conexión entre vías:
 - Arterial: Son las vías de acceso a una ciudad, las que dirigen el tráfico entre las autopistas, autovías y los núcleos urbanos. Dentro de este apartado se encuentran las rondas y carreteras de dos o tres carriles para cada sentido; son las de mayor velocidad máxima dentro de la ciudad (entre 50-80 km/h) y conectan las carreteras exteriores de la ciudad con las vías colectoras. Se corresponden a valores de IMD mayores a 8000 vehículos diarios de promedio. Presentan niveles de ruido elevados debido al alto tránsito de vehículos y la velocidad a la que viajan los mismos. Disponen de dos o más carriles de circulación para cada sentido.
 - Colectora: Son las vías intermedias dentro de la ciudad, suelen tener velocidades máximas de circulación de 50 Km/h y disponer de uno o dos carriles en cada sentido de circulación. Conectan las vías arteriales con las locales y se corresponden a valores de IMD entre 3000-8000 vehículos diarios de promedio. Presentan niveles de ruido intermedios.
 - Locales: Son las vías más pequeñas en el interior de la ciudad, también las más numerosas. Su función es conectar las viviendas o zonas residenciales con las vías colectoras. En los núcleos urbanos son predominantes y son las que menores índices de ruido presentan. Su velocidad suele estar limitada entre los 10- 50 km/h y solo disponen de un carril para cada sentido de circulación. Se corresponden a valores de IMD inferiores a 3000 vehículos diarios de promedio.
- IMD: Es el número de vehículos promedio que circulan por una vía en un periodo de 24 horas. Para analizar este parámetro se clasificó el periodo horario establecido en el apartado 2, del anexo II del Real Decreto 1513/2005, de 16 de diciembre [20]:
 - $IMD_{\text{día}}$: Es el número de vehículos que circulan en promedio en el periodo 7:00-19:00 horas.
 - IMD_{tarde} : Es el número de vehículos que circulan en promedio en el periodo 19:00-00:00 horas.
 - IMD_{noche} : Es el número de vehículos que circulan en promedio en el periodo 00:00-7:00 horas.

- VPKW: Es la velocidad máxima permitida en la vía para vehículos ligeros. El valor analizado es el de la vía a la altura de los puntos de medida, ya que hay vías que cambian su velocidad máxima en función del tramo en el que se encuentren.
- VLKW: Es la velocidad máxima permitida en la vía para vehículos pesados. Cabe destacar que para el interior de las ciudades VPKW y VLKW coinciden en la mayoría de puntos, ya que esta diferenciación es más característica para vías con velocidades elevadas como autovías, autopistas o carreteras nacionales que no entran dentro del estudio del presente trabajo.
- STORN: Este parámetro caracteriza el tipo de asfalto acústicamente hablando. La clasificación elegida se muestra en la siguiente tabla:

STORN	Tipo de suelo
1	Asfalto con capa de cemento, hormigón asfáltico. Aglomerado convencional y de color.
2	Losa asfáltica y loseta especial. Microaglomerado en frío y caliente, piezas prefabricadas y pavimentos especiales.
3	Pavimento con superficie lisa. Adoquín cerámico, adoquín artificial y adoquín basáltico.
4	Otros pavimentos. Adoquín de piedra, adoquín granítico, losa natural y losa prefabricada de hormigón.
5	Cemento ZTV Beton 78 con recubrimiento de acero.
6	Cemento ZTV Beton 78 con recubrimiento de acero suavizado.
7	Asfalto de hormigón tipo $\leq 0/11$ y con capas de asfalto tipo 0/8 y 0/11 sin arena.
8	Asfalto poroso con capas de al menos un 15% de huecos y tipo 0/11 de tamaño de granilla.
9	Asfalto poroso con capas de al menos un 15% de huecos y tipo 0/8 de tamaño de grano. Aglomerado fonoreductor.

Tabla 11: Valor de STORN en función del tipo de asfalto [20].

El tipo de asfalto ha sido obtenido en la vía más cercana al punto de medida, ya que existen vías formadas por diferentes tipos de asfalto a lo largo de su recorrido.

- Porcentaje pesados: Se trata de un parámetro especialmente importante, ya que nos indica el porcentaje del total de IMD que son vehículos pesados, es decir, aquellos cuyo peso es superior a 3,5 toneladas. Al realizar el estudio dentro de una ciudad, este porcentaje es pequeño ya que los vehículos pesados suelen estar limitados en el acceso al interior de las ciudades. Se establecen principalmente 3 porcentajes:
 - 1%
 - 3%
 - 5%

Se ha podido comprobar con los datos disponibles que existe una relación directamente proporcional entre el tipo de vía y el porcentaje de pesados. Así, las vías locales tienen predominantemente porcentajes del 1% mientras que en las arteriales predomina el 5%.

- Número pesados: Es el número total de vehículos pesados que circulan en promedio en un periodo de 24 horas por cada vía analizada.
- Número ligeros: Es el número total de vehículos ligeros que circulan en promedio en un periodo de 24 horas por cada vía. Si sumamos el número de pesados y ligeros, obtenemos el IMD de dicha calle.
- Altura edificios: Es la altura promedio de los edificios colindantes a los puntos de medida. No es el promedio de los edificios de toda la calle, sino sólo de los que rodean a los puntos de medida ya que es donde podría producirse una mayor o menor reflexión del sonido o un apantallamiento del mismo. Para la obtención de este valor se ha utilizado la herramienta ArcGis para obtener la altura de cada edificio y realizar un promedio de los mismos.
- Forma de la vía: Se trata de la ubicación de los edificios que rodean el punto de medida. Se establecen principalmente 3 formas diferentes para clasificar la vía:
 - Tipo U: Se trata de aquellos puntos de medida que están rodeados a ambos lados de la vía por edificios. Es decir, existen edificios a ambos lados de la vía. Éstos pueden apantallar o hacer que rebote el sonido.
 - Tipo L: Se trata de aquellos puntos de medida que están rodeados únicamente por uno de los lados, ya sea el izquierdo o el derecho, por edificios. Es decir, sólo hay edificios a un lado de la vía.
 - Tipo _: Se trata de aquellos puntos de medida que no están rodeados por ningún edificio en ninguno de los lados. Es decir, no hay edificios rodeando la vía.
- LAeq,l: Es un parámetro que mide los niveles de ruido producidos. Su unidad son los decibelios ponderados con la tabla de ponderación A (dBA). l nos indica la duración de la medición, en nuestro caso la mayoría de medidas se producen durante 1 hora por lo que tendríamos LAeq,1. A través de este parámetro definimos los siguientes:
 - L_e : Es el parámetro equivalente a las mediciones de 1 hora ($LA_{eq,1}$) promediadas durante el periodo de día.
 - L_d : Es el parámetro equivalente a las mediciones de 1 hora ($LA_{eq,1}$) promediadas durante el periodo de tarde.
 - L_n : Es el parámetro equivalente a las mediciones de 1 hora ($LA_{eq,1}$) promediadas durante el periodo de noche.
 - L_{den} : Es un indicador de ruido asociado a la molestia acústica en un periodo de 24 horas. Las constantes de 12, 4 y 8 horas pueden variar en función del periodo de día, tarde y noche seleccionado [10].

$$(35)L_{den} = 10 \log \left(\frac{(12 \cdot 10^{L_d}) + (4 \cdot 10^{L_e}) + (8 \cdot 10^{L_n})}{24} \right)$$

- L_{eq} : Nivel sonoro continuo equivalente, se define como el promedio de la energía de nivel de ruido equivalente a los periodos de día, tarde y noche [10].

$$(36)L_{eq} = 10 \log \left(\left(10^{\frac{L_d}{10}} \right) + \left(10^{\frac{L_e}{10}} \right) + \left(10^{\frac{L_n}{10}} \right) \right)$$

Hay otros parámetros que podrían haber sido de interés en el análisis del método que no se han utilizado debido a la falta de datos o por considerarse despreciables en comparación con los demás. Un claro ejemplo de esto es la anchura de las calles analizadas, ya que por lo

general en el interior de una ciudad la anchura de las calles no varía significativamente. Cambios de 10 metros en la anchura de la calle no producen grandes variaciones en los resultados. Esta hipótesis ha podido ser comprobada por los técnicos de Audiotec en las mediciones llevadas a cabo. Por otro lado, en las correcciones aplicadas por la mayoría de los métodos de predicción de ruido, la anchura de la calle influye en torno a 1 dB de los cálculos. Como los mapas de ruido se realizan en rangos de 5 dB, consideramos que la variación máxima de 1 dB es despreciable.

Un parámetro que si resulta de interés es el promedio de velocidad de los vehículos en las vías, es uno de los principales parámetros en el que se centran la mayoría de modelos de predicción de niveles acústicos, debido a la falta de disponibilidad de estos, se analizó la velocidad máxima en su lugar.

3.3.-IMD

IMD es el promedio de vehículos diarios circulando por una vía en un día, para su obtención se necesita el cálculo de datos analizado en una hora en el periodo de un año. Esto requiere la utilización de un instrumento midiendo de forma continua durante un año el conteo de vehículos que circulan en su posición. Existen diversas técnicas utilizadas para llevar a cabo el conteo:

- **Aforos manuales:** Es la técnica más arcaica, consiste en que un observador se sitúe en el emplazamiento que se desea medir y realice un conteo de los vehículos que circulan por el tramo de vía. Puede realizarse mediante un pulsador o rellenando un impreso. Se trata de un método poco fiable ya que en zonas de alto tránsito de vehículos se convierte en una ardua tarea para el individuo que tiene que realizar el conteo, produciéndose con mucha facilidad errores en la cuantificación de los vehículos. En la práctica este método no se utiliza.
- **Aforos neumáticos:** Formados por un captador que consta de dos tubos separados entre sí un metro y que está colocado sobre el asfalto. Dispone de un detector formado por dos láminas metálicas que al ser pisadas por el neumático de un vehículo realizan el conteo.
Tienen un coste relativamente bajo, el problema sucede al ser pisado por camiones de más de dos ejes, produciéndose ciertos errores en la obtención de los resultados.
- **Lazo inductivo:** Se realizan unos cortes en el asfalto en los que se introducen unas bobinas, al ser pisadas por los neumáticos de un vehículo, se induce una corriente eléctrica. En función del tiempo de duración de la corriente, se obtiene el conteo de los vehículos, indicando el porcentaje de estos. Se trata de uno de los métodos más utilizados debido al porcentaje elevado de acierto. Además, el coste no es muy superior al de los aforos neumáticos.
- **Lazo inductivo doble:** Está formado por dos espiras en vez de una que tenía el lazo inductivo. Se colocan a una distancia concreta y en función de la corriente inducida al pasar el vehículo, se calcula la velocidad del vehículo. Este método es de gran importancia ya que además de permitirnos obtener la velocidad del vehículo y el conteo de vehículos que circulan por la vía, nos da información sobre la longitud de los automóviles y su peso, pudiendo ser clasificados en vehículos ligeros o pesados.

- **Visión artificial:** Es una técnica que se basa en programas de software. A través de imágenes obtenidas de la vía a analizar, mediante algoritmos y procesamiento digital, obtiene el número de vehículos que circulan por la vía, la velocidad de los vehículos, su peso y longitud. En la práctica no es una técnica muy utilizada debido al coste elevado que tiene, tanto económico ya que requiere de cámaras de alta resolución como computacional debido al procesamiento de datos.
- **Radar de microondas:** Emiten energía a altas frecuencias orientada a los vehículos que circulan por la vía. Son capaces de medir el flujo de vehículos y la velocidad de los mismos. Un problema que presentan es que se pueden producir interferencias debidas a otros sistemas que manipulen el conteo de vehículos.
- **Radar de infrarrojos:** Utilizan un sensor de fotones colocado a una pequeña distancia de la vía a tratar. Este sensor mide la energía en la banda de longitudes de onda de 0,7 hasta los 1000 micrómetros. Existen dos tipos:
 - **Pasivo:** Emite en toda la banda y solo puede medir el flujo de vehículos.
 - **Activo:** Emite únicamente en el espectro infrarrojo, de tal manera que se refleja el rayo al chocar con el vehículo y nos permite obtener información del flujo de tráfico y de la velocidad.
- **Radar captador magnético:** Se basan en el fenómeno de distorsión del campo magnético que es la deformación de la onda durante su transmisión. Están formados por un tubo metálico que contiene un núcleo de hierro con una bobina conectada al amplificador. Permiten obtener el tránsito de vehículos, así como su velocidad.
- **Radar captador magnético compensado:** Están formados por 4 núcleos como el del radar magnético, esto permite distinguir el sentido de la circulación de los vehículos además del flujo y su velocidad.
- **Bluetooth:** Está en proceso de desarrollo y está pensado para ser aplicado en el futuro. Se basa en la detección de dispositivos móviles mediante la tecnología bluetooth, ya sea del propio vehículo si dispone de ella o de los terminales móviles que se localicen en su interior. Como puntos a favor debemos tener en cuenta que realiza el procesamiento en tiempo real. Como puntos en contra que aún no está disponible para ser aplicado actualmente y que exige la presencia de terminales móviles o que el vehículo disponga de la tecnología [21] [22].

3.3.1.-Reparto porcentual de IMD en función de la franja horaria

Los datos obtenidos a través de ArcGis muestran el valor de IMD promedio diario de cada punto de medida. Para nuestro análisis de ruido, resulta de interés realizar un pequeño estudio sobre la influencia de los valores del IMD respecto a la franja horaria. Al disponer de los parámetros L_d , L_e y L_n ; se busca obtener los valores del IMD en las mismas franjas horarias con el objetivo de intentar mejorar la precisión aplicando a cada franja su valor concreto de IMD en vez del IMD total promediado.

Este objetivo se marcó debido a que el número de vehículos que circulan en los distintos periodos varía de forma muy significativa. De tal manera, si aplicáramos el valor global de IMD al periodo de noche, no se correspondería con la realidad. Ya que el número de vehículos que circulan por la noche es mucho más pequeño que el que circulan a lo largo del día y el valor promediado se alejaría mucho de estos valores.

Para realizar el estudio hubo que tener en cuenta el reparto especial de la ciudad analizada, pese a que la normativa del Real Decreto 1513/2005 en el anexo II, apartado 2 especifica los horarios de día, tarde y noche especificados en el punto 3.2, la ciudad analizada en concreto tiene su propia normativa y aplica los siguientes horarios:

- Periodo: 7:00-21:00 horas en vez de 7:00-19:00 horas.
- Periodo tarde: 21:00-23:00 horas en vez de 21:00-00:00 horas.
- Periodo noche: De 00:00 a 7:00 horas.

Por ello, el análisis está realizado para estos periodos horarios, pero posteriormente está corregido con los datos establecidos por el Real Decreto 1513/2005 con vistas a poder ser aplicado en cualquier núcleo urbano de España.

Para cada uno de los puntos en los que se encontraban las estaciones de medida, se calculó el porcentaje de vehículos en los periodos anteriormente mencionados. Para ello, se calculó el total de IMD en un día completo. Al disponer de los datos en periodos de una hora, se procedió a sumar los IMD por hora para cada franja horaria. De tal manera que se realizó el promedio de los tres periodos en 3 tablas separadas, obteniendo 3 valores en tanto por ciento:

$$(37)\%Día = \left(\frac{TOTAL}{Dia}\right) * 100$$

$$(38)\%Tarde = \left(\frac{TOTAL}{Tarde}\right) * 100$$

$$(39)\%Noche = \left(\frac{TOTAL}{Noche}\right) * 100$$

Siendo

-TOTAL la suma del IMD en periodo i; siendo i=1,2,3....00 horas.

-Dia la suma del IMD en periodo j; siendo j=7,8,9...21 horas.

-Tarde la suma del IMD en periodo k; siendo k=22,23 horas.

-Noche la suma del IMD en periodo l; siendo l=00,1,2....6 horas.

En la siguiente tabla se observan los cálculos realizados en algunos de los puntos, por cuestiones de privacidad no se indican los nombres de las vías y su punto de localización.

TOTAL	IMD	Dia	Tarde	Noche	%Dia	%Tarde	%Noche
65006	65004	44561	14106	6339	68,551166	21,700203	9,751707
76317	76316	53949	14684	7684	70,691598	19,241050	10,06866
11789	11791	8570	2369	850	72,682554	20,091595	7,208888
15659	15657	11042	3434	1183	70,524366	21,932681	7,555725
33537	33538	24329	6868	2340	72,541594	20,478263	6,977160
149630	149630	110665	30312	8653	73,959099	20,257969	5,782931
33016	33014	24629	6343	2044	74,601684	19,213061	6,191312
15182	15181	11213	3057	912	73,862064	20,137013	6,007509
28044	28039	20092	5619	2333	71,657334	20,039944	8,320553

18415	18411	13286	3655	1474	72,163380	19,852262	8,006083
6806	6809	4593	1508	705	67,454839	22,147158	10,35394
36470	36467	27458	6944	2068	75,295472	19,041873	5,670880
37536	37539	27730	7130	2676	73,86984	18,99358	7,128586
38243	38244	27396	7852	2995	71,634766	20,531325	7,831293
24702	24701	18410	4406	1886	74,531395	17,837334	7,635318
139588	139586	104690	29331	5567	75,000358	21,012852	3,988222
95949	95948	71329	19458	5162	74,341309	20,279734	5,379997
195018	195016	138830	40064	16124	71,189030	20,543955	8,268039
76522	76519	53910	14314	8298	70,453090	18,706465	10,84436
108482	108484	79830	22600	6052	73,586888	20,832565	5,578702
190601	190602	136062	37937	16602	71,385399	19,903778	8,710296
54451	54449	40891	10286	3274	75,099634	18,891072	6,012966
58404	58403	43388	11699	3317	74,290704	20,031505	5,679502
211608	211605	144059	40176	27373	68,079204	18,986318	12,93589
174415	174413	128065	36003	10347	73,426292	20,642383	5,932470
80793	80796	57165	16194	7434	70,752265	20,043071	9,200950

Tabla 12: IMD en función de la franja horaria.

Si mostramos los datos de todos los puntos en un gráfico cuyos ejes son el incremento absoluto de IMD y el tanto por ciento de día, tarde y noche; obtenemos los siguientes resultados:

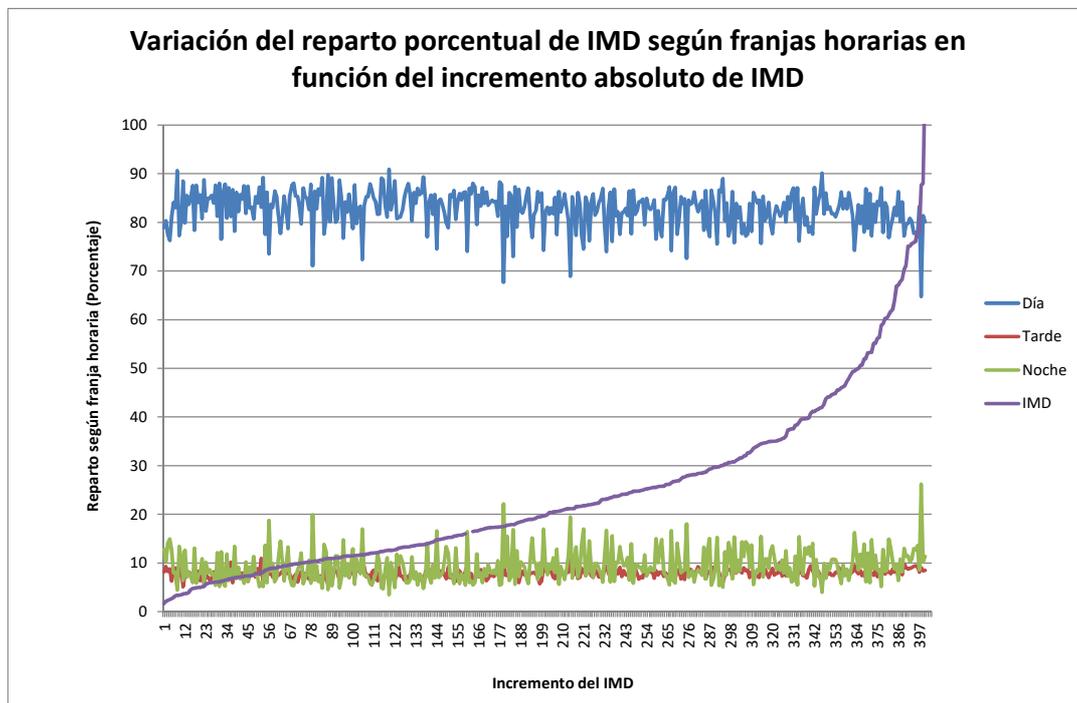


Figura 4: Variación de IMD en franjas horarias.

Podemos ver que cerca del 80 por ciento de los vehículos circulan en el periodo día, alrededor del 10 por ciento en periodo tarde y el 10 por ciento restante correspondería al periodo noche.

Por tanto, podemos concluir que existe una relación clara entre los IMD y su división en franjas horarias independientemente del valor del IMD. Así, podemos realizar una clasificación en $IMD_{día}$, IMD_{tarde} e IMD_{noche} partiendo del valor bruto del IMD Total.

El valor exacto de dichos promedios se extrae de la siguiente gráfica:

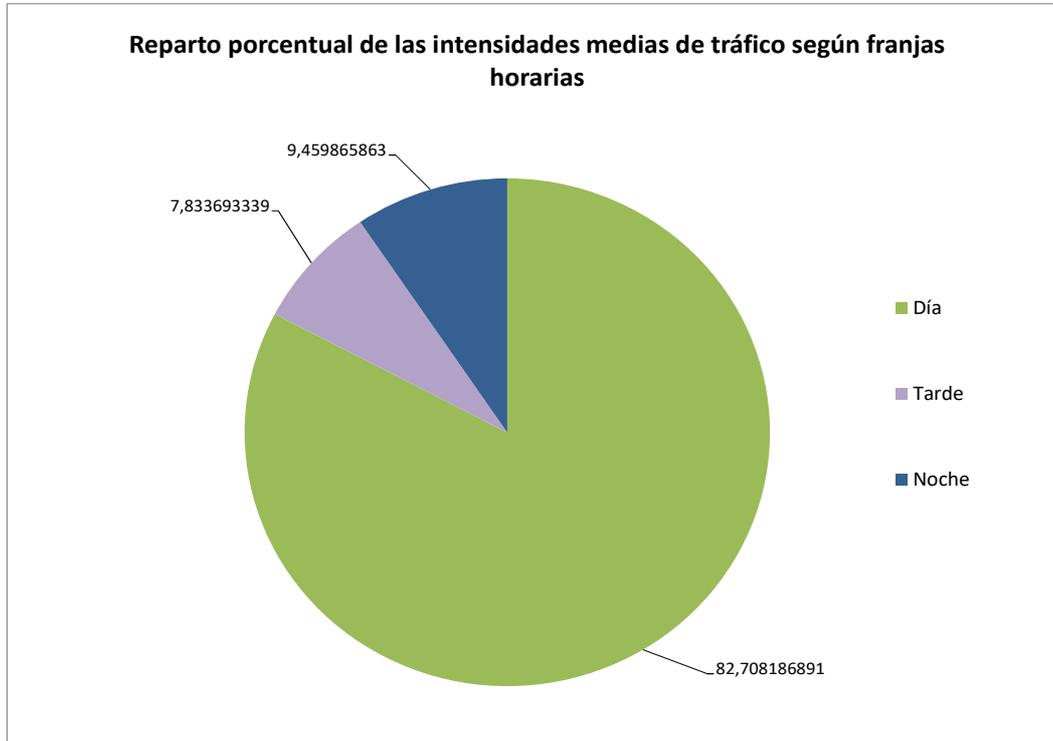


Figura 5: Reparto porcentual de IMD en franjas horarias.

Podemos ver por tanto que los valores concretos descritos en la figura 5 son:

Día: 82,708186891

Tarde: 7,822692229

Noche: 9,459865863

Estos datos son los obtenidos para la normativa local de la ciudad, aplicando los cambios de franjas horarias establecidos por el Real Decreto 1513/2005 obtenemos unas pequeñas variaciones, así el porcentaje correspondiente al día será algo menor y el correspondiente a la tarde algo mayor ya que se asigna un número menor de horas al periodo día y un número mayor al periodo tarde, en cambio el porcentaje correspondiente al periodo de noche deberá ser el mismo ya que estas horas no se modifican. Obtenemos los siguientes resultados:

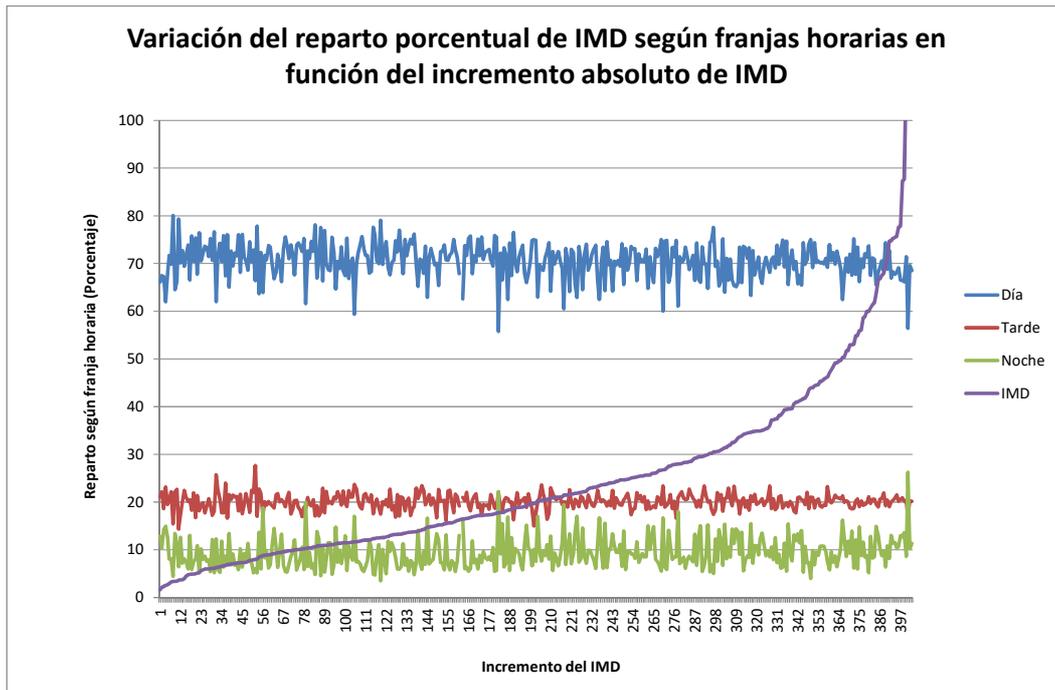


Figura 6: Variación del IMD en franjas horarias global.

Al igual que sucedía con los otros parámetros, vemos que tiene un comportamiento lineal por lo que podemos realizar la suposición de que independientemente del valor del IMD, obtenemos los mismos porcentajes para cada franja horaria, con valores ligeramente diferentes respecto al obtenido anteriormente. Aumenta el valor en el periodo tarde, disminuye en el periodo día y se mantiene constante en el periodo noche. Al incrementar el número de horas del periodo tarde, se promedia un mayor número de vehículos y por tanto tiene coherencia. Lo mismo sucede en el periodo día que, al decrementarse el número de horas, se promedia un menor número de vehículos. En este caso concreto, los valores obtenidos son los siguientes:

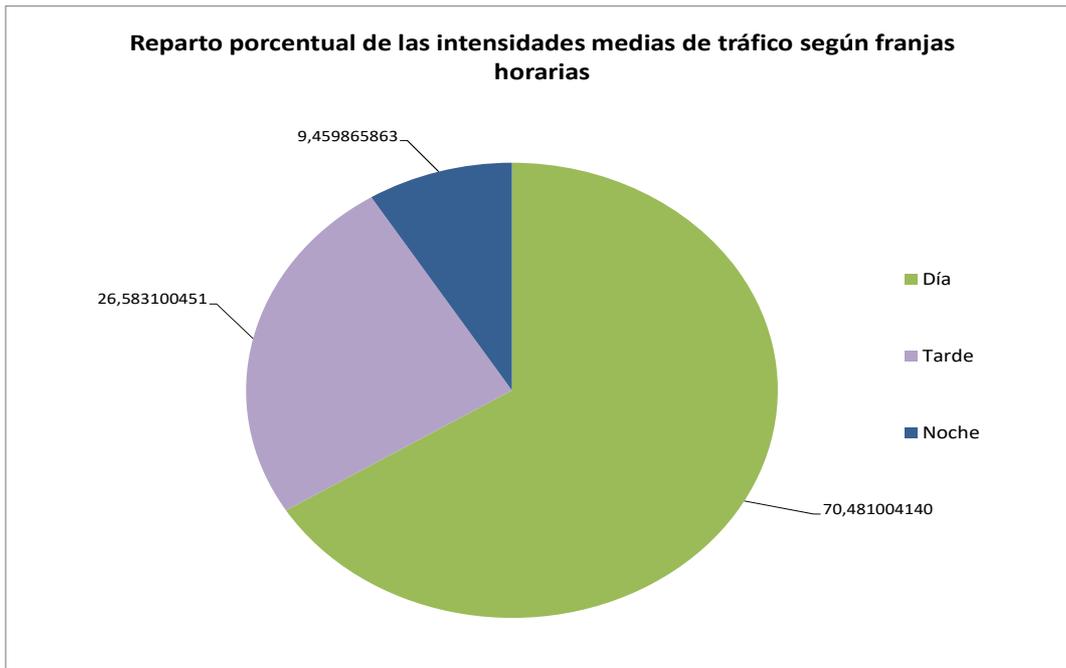


Figura 7: Reparto porcentual de IMD en franjas horarias global.

Por lo que finalmente obtenemos los siguientes valores, que son los que aplicaremos a los datos para realizar nuestro modelo:

Día: 70,481004140

Tarde: 26,583100451

Noche: 9,459865863

3.3.2.-IMD/HORA

Al contar con los datos obtenidos en cada hora, se realiza un análisis de los mismos aplicando la clasificación del tipo de vía. Como se menciona en el apartado 3.2, cada tipo de vía tiene un rango de IMD:

Local: $IMD < 3000$

Colectora: $3000 \leq IMD \leq 8000$

Arterial: $IMD > 8000$

De esta manera, podemos comparar por separado los valores por hora promediados en un día completo de los IMD para cada tipo de vía. El valor de IMD es directamente proporcional a los niveles de ruido analizados, por tanto, valores elevados de vehículos diarios promediados corresponderán a elevados índices de ruido generado por los vehículos.

Se busca estudiar la presencia de picos que indiquen periodos horarios en los que la presencia de vehículos en las vías es más elevada que en el resto. Para ello se muestran las gráficas de todos los valores de IMD obtenidos en cada punto de medida para las vías locales, colectoras y arteriales con el objetivo de buscar un patrón común de todos los puntos analizados en cada tipo de vía.

A continuación, se muestran las gráficas clasificadas por tipo de vía:

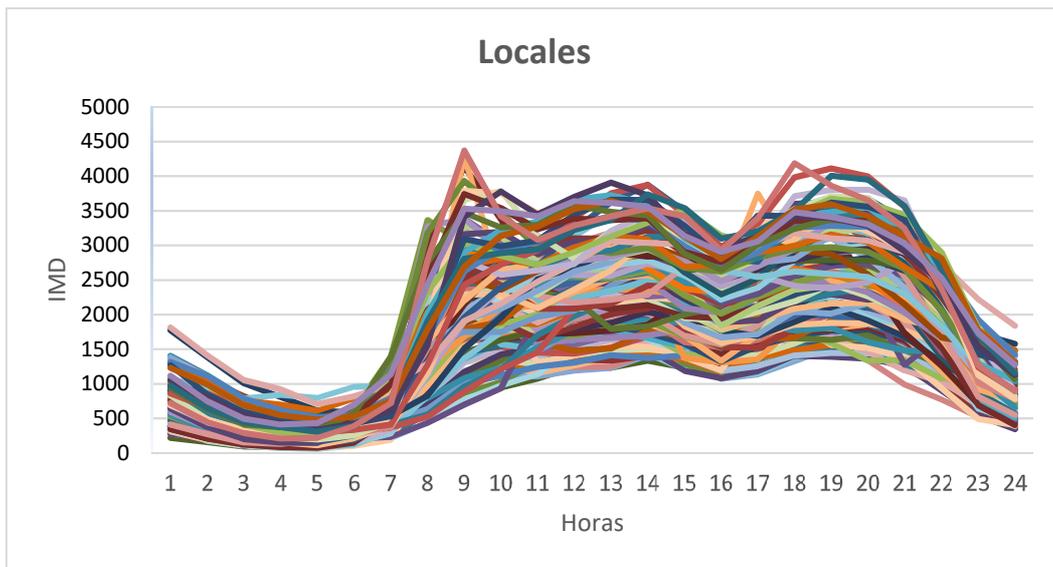


Figura 8: IMD de vías locales por hora.

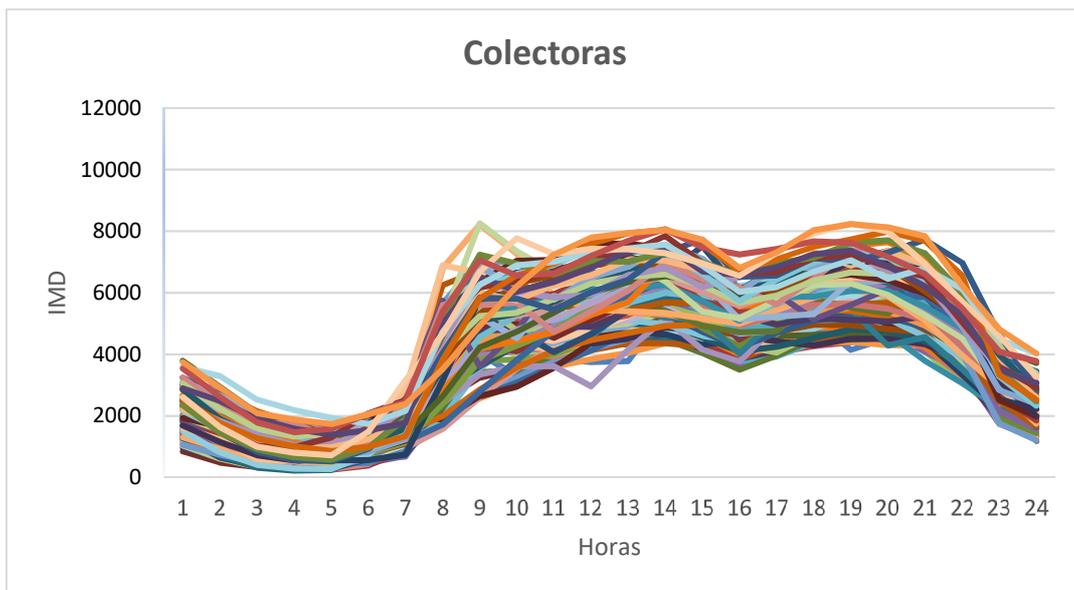


Figura 9: IMD de vías colectoras por hora.

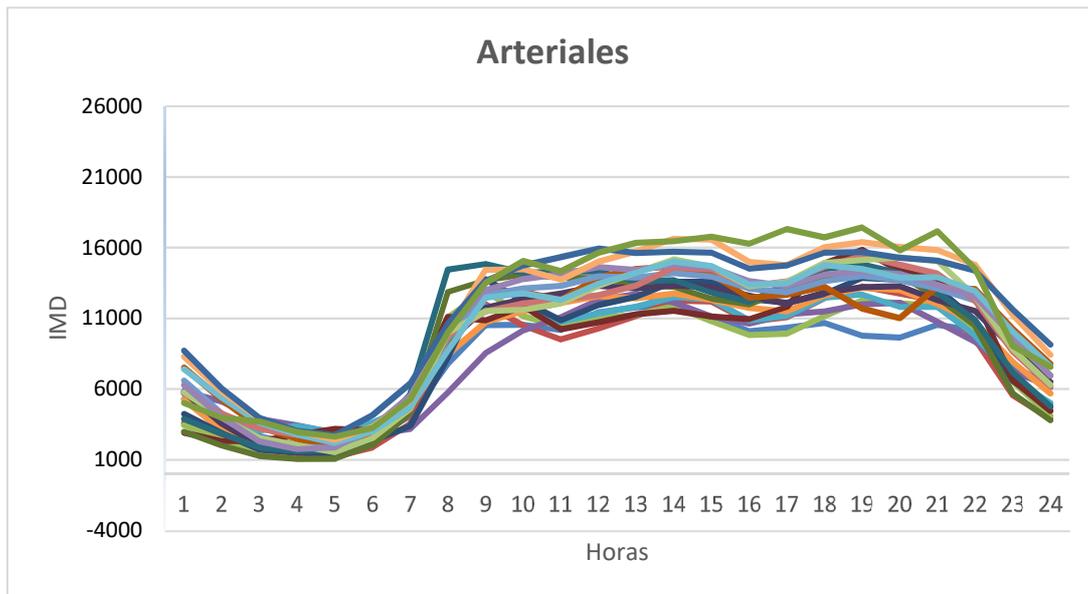


Figura 10: IMD de vías arteriales por hora.

Podemos observar un patrón común entre todas las gráficas, aunque se observan diferencias claras en cada tipo de vía. En las vías locales y arteriales existe un pico en torno a las 8-9 de la mañana, este factor se explica porque es cuando empieza la actividad de una ciudad, ya sea jornada laboral, colegio de niños... El pico decrece un poco las horas posteriores y vuelve a darse el alza en torno a las 19-20 horas de la tarde que es cuando se termina la actividad laboral de la ciudad. Vemos que los marcadores se reducen notablemente en periodos nocturnos.

Para las vías arteriales, el pico no es tan significativo, ya que al tratarse de las vías que conectan varios núcleos urbanos, el tráfico de vehículos es más constante a lo largo de las horas. Existiendo una presencia de vehículos en periodo nocturno superior a las vías locales y colectoras. Existe una gráfica de referencia que utiliza el método francés NMPB-Routes como base cuando no se dispone de estos datos:

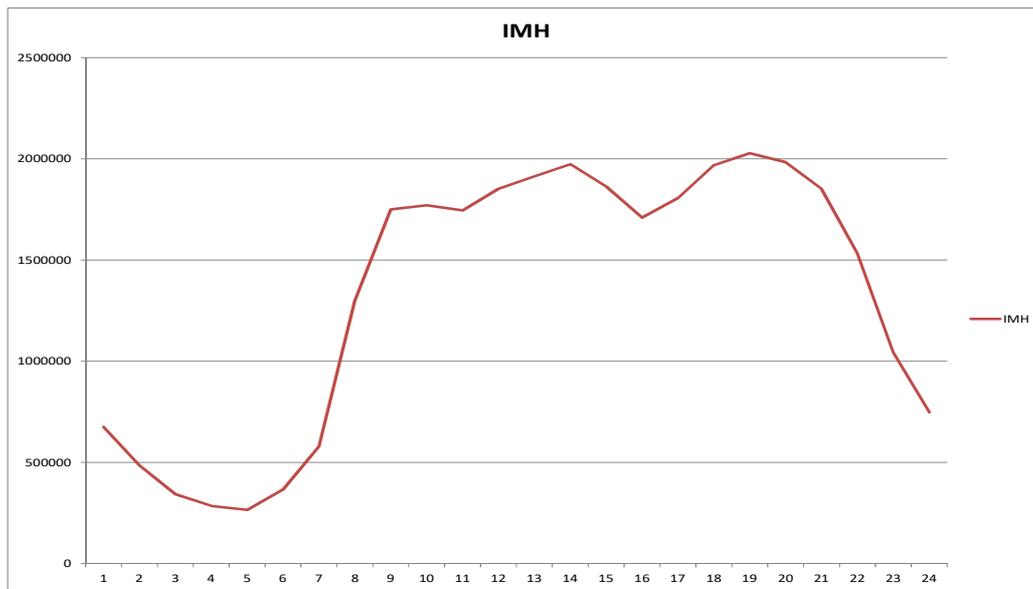


Figura 11: Gráfico de referencia de IMD por hora del método NMPB-Routes.

Podemos ver que las vías colectoras se aproximan muy bien a este gráfico, pero no de la misma manera las locales y arteriales, de ahí la diferenciación entre los 3 tipos de vías.

Las vías colectoras corresponden a carreteras transitadas mayoritariamente para acceder de vías locales (residenciales) a vías Arteriales de comunicación con las zonas industriales. De tal forma, estas vías son muy transitadas cuando se aproximan horas de entrada o salida laboral. En cambio, las vías arteriales tienen un comportamiento más lineal a lo largo del periodo 9-22 horas ya que el tránsito de vehículos se produce de forma continua a lo largo del día y las locales se acercan a los resultados esperados, pero con grandes variaciones debido a que algunas son muy poco transitadas.

3.4.-LAeq,1

Otro análisis que resulta de interés es ver la evolución a lo largo de los diferentes días de la semana. Al disponer de todos los datos por hora en periodo de un año, se procedió a promediar todos los valores en periodo de día L_d , tarde L_e y noche L_n . Posteriormente se procedió a promediar cada día de la semana separadamente.

El resultado hubiera sido distinto si se hubieran promediado los valores para cada día y posteriormente en franjas horarias.

A continuación, se detalla la información de 3 puntos de medida concretos, uno correspondiente a una vía local, otro a una vía colectora y otro a una vía arterial después de haber realizado los cálculos anteriormente mencionados. De esta manera vemos el comportamiento de cada uno de ellos:

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Nivel sonoro
L_d	65,4	65,3	65,4	65,6	65,2	64,1	62,6	64,9
L_e	63,9	64,2	64,3	65,0	64,7	65,3	63,4	64,4
L_n	60,7	62,0	62,4	71,8	71,0	70,1	57,9	67,8

Figura 12: L_d , L_e y L_n promedios por día en vías locales.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Nivel Sonoro
L_d	66,2	66,6	65,7	65,9	66,7	67,4	65,4	66,3
L_e	66,1	65,3	65,9	68,2	67,8	68,2	65,3	66,9
L_n	65,1	65,2	67,3	68,6	71,2	72,6	66,9	69,0

Figura 13: L_d , L_e y L_n promedios por día en vías colectoras.

	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	Nivel Sonoro
L_d	70,9	71,1	71,0	70,8	71,1	68,8	67,4	70,4
L_e	68,5	69,5	69,8	69,1	69,0	68,1	67,9	68,9
L_n	63,3	63,5	63,7	64,0	64,3	63,6	62,8	63,6

Figura 14: L_d , L_e y L_n promedios por día en vías arteriales.

Como es lógico, las vías colectoras tienen niveles de ruido más elevados que las locales y las arteriales a su vez mayores que las colectoras, ya que tienen mayor número de vehículos circulando por la vía. Lo que es significativo de separar los promedios en días semanales es que se observa una tendencia a que los domingos disminuyen los valores del parámetro LAeq que se explica debido al carácter especial de los domingos al pararse la jornada laboral. Se produce un menor número de desplazamientos y por tanto los niveles son menores.

A continuación, se muestran unas gráficas en las que podemos ver los niveles anteriores y si superan o no los límites máximos permitidos establecidos por la normativa municipal de la ciudad donde se realizaron las medidas:

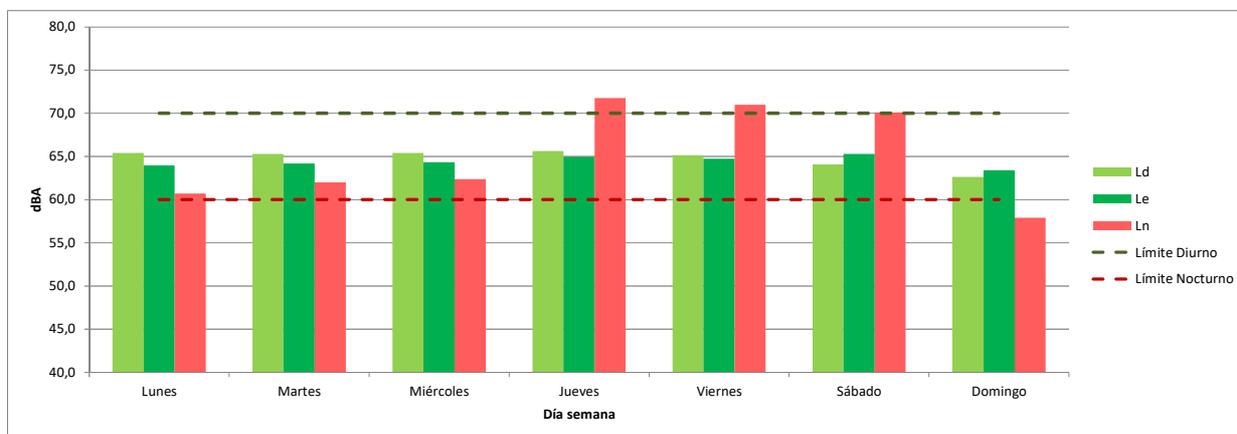


Figura 15: Límites máximos de L_d , L_e y L_n para vías locales.

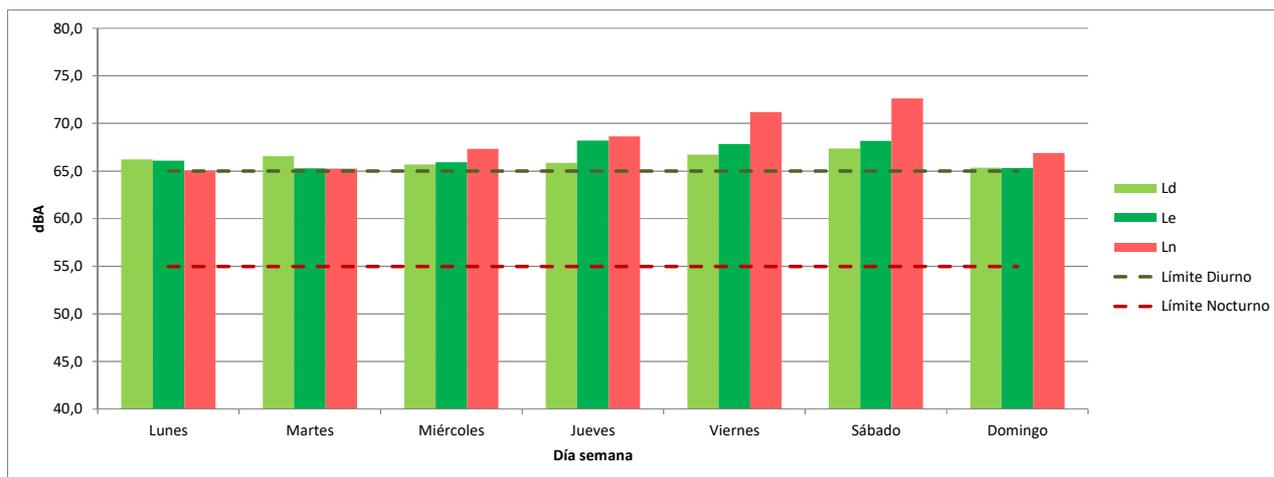


Figura 16: Límites máximos de L_d , L_e y L_n para vías colectoras.

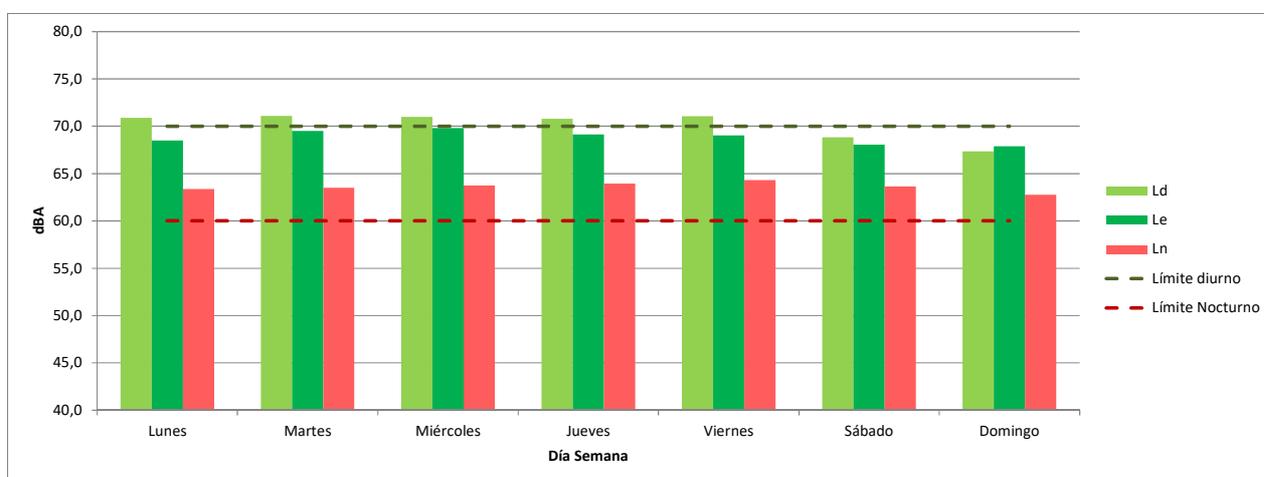


Figura 17: Límites máximos de L_d , L_e y L_n para vías arteriales.

Los niveles más elevados suelen estar asociados al periodo día, ya que es cuando las vías están más transitadas, después están los niveles del periodo tarde, que se asemejan con bastante proximidad a las emisiones diurnas. Los niveles del periodo de noche son los más bajos, esto es coherente ya que es el periodo cuando hay menos desplazamientos. Si nos fijamos en los niveles máximos permitidos, en el periodo diurno (día y tarde) los marcadores están rozando el límite e incluso superándolo levemente. En cambio, en el periodo nocturno, pese a ser los valores de ruido más bajos, se supera con creces el valor umbral máximo permitido considerado necesario para lograr un descanso de calidad.

Este fenómeno es acorde con los problemas derivados del trastorno del sueño descritos en el apartado 2.4. Por lo que es necesaria una actuación para disminuir los niveles de ruido y una de las principales herramientas para combatirlos son los mapas de ruido.

3.5.-Conclusiones

Tras analizar los parámetros considerados de interés para el cálculo de los índices de ruido, se ha tenido especial hincapié en el IMD, ya que el resto de datos se aplicarán de manera directa al estudio del método simplificado. Sin embargo, el IMD se divide en franjas horarias para ser analizado separadamente en cada una de ellas.

EL análisis realizado nos muestra que las horas en las que circula un mayor número de vehículos y, por tanto, en las que mayor presencia de ruido existe son aquellas en las que se produce el inicio y fin de actividad de las ciudades, coincidiendo con el comienzo y finalización de las jornadas laborales.

Por otro lado, se ha observado que, en los días de diario, la presencia de ruido es mayor que los fines de semana ya que la afluencia de vehículos es menor. Y que el periodo de día concentra cerca del 70 por ciento del total de vehículos frente al 30 de la tarde o el 10 de la noche.

La clasificación de los tipos de vías nos permite realizar una mejor comparación con los datos disponibles, logrando una mayor precisión de los parámetros en el cálculo final.

4.Método de predicción de niveles sonoros

4.1.-Introducción

Existe un gran abanico de métodos de predicción de niveles sonoros desarrollados por diferentes países. Al no existir una normativa global, cada país desarrolló su propio método. De esta manera, como se menciona en el apartado 2.6, se generaron diferentes métodos muy diferentes entre sí. Todos ellos utilizan un conjunto de parámetros con unos porcentajes de acierto muy elevados.

En el caso de España, se utiliza el método francés NMPB-Routes ya que no cuenta con un método propio. Debido a la normativa mencionada en el apartado 2.3, es obligatorio utilizar dicho método para la realización de mapas de ruido. Por tanto, el desarrollo de un nuevo método no podrá ser utilizado en la elaboración de estos.

Si bien, la problemática reside en la necesidad de disponer de datos fijos, numerosas variables que intervienen en mayor o menor medida en la obtención de los niveles de LA_{eq} . De esta problemática surge la necesidad de crear un método simplificado en el que no sea necesaria la utilización de tal cantidad de datos.

El objetivo consiste en predecir los niveles sin disponer de una gran cantidad de datos para reducir la carga computacional, los costes y los tiempos de ejecución.

Se busca crear un método sencillo, de tal manera que la precisión del mismo pase a ser secundaria siempre que se supere un determinado umbral para garantizar que los datos obtenidos se aproximan a la realidad. La diferencia entre un color u otro en un mapa de ruido se establece en 5 dBA, por lo que consideraremos que éste es el umbral que no debemos superar. Al simplificar el método, buscamos reducir el amplio abanico de variables, para hacer depender el resultado del menor número posible de ellas. Como se menciona anteriormente, no es posible utilizar el método que se va a desarrollar ya que la normativa no lo permite, pero la finalidad buscada es la de facilitar la realización de los mapas de ruido, un paso previo antes de comenzar a medir y aplicar el método francés. A través de los resultados obtenidos por este método se puede estudiar la ubicación de las estaciones de medida reduciendo su número al máximo y encontrar zonas de niveles de ruido elevados donde posteriormente se requerirá de medidas para reducir los marcadores acústicos. Si previamente a la obtención de los valores dados por las estaciones de medida disponemos de datos aproximados en función de características de vías que son comunes en distintas ciudades, realizaremos un mapa de ruido más preciso detectando posibles problemas que encontremos en el futuro [23] [24].

Inicialmente se planteó la posibilidad de coger el método francés NMPB-Routes y simplificarlo introduciendo datos fijos en las fórmulas existentes en función de la categorización de las vías. La idea original era utilizar las fórmulas del apartado 2.6.1 reduciendo las variables dependientes al mínimo introduciendo valores promediados de los parámetros. Por ejemplo, para vías locales introducir una velocidad fija de 30 km/hora para todas las vías y ver si el error es muy significativo en aquellas vías cuya velocidad promedio es mayor o menor.

Esta idea se descartó ya que este método está pensado para ofrecer datos muy exactos y parece más lógico buscar un nuevo método que parta de la idea original de simplificación. Si comenzamos a asignar valores fijos a parámetros que están pensados para variar su valor, cometemos siempre errores que, aunque sean pequeños, se van acumulando y los resultados serán poco precisos. En cambio, si pensamos de cero en un método que tenga en cuenta las mínimas variables y haga depender su resultado de las mismas, el porcentaje de acierto será mayor.

Así surge la idea de este método, para analizar las variables más dependientes del resultado e intentando buscar fórmulas matemáticas que aproximen los resultados.

4.2.-Análisis de Variables

Con los objetivos prefijados de buscar un método simplificado, se realizó un estudio basado en el análisis de diferentes variables descritas en el apartado 3.2. Para ello, se tomó como referencia el valor del LAeq y se comparó con el resto de parámetros. Más concretamente se realizaron separadamente 3 estudios para las siguientes variables de referencia:

- L_d
- L_e
- L_n

La clasificación se realizó de esta manera porque son las variables necesarias para realizar el mapa de ruido. Como se puede ver en el apartado 3.4, existen cambios significativos entre el periodo diurno (día y tarde) y el periodo nocturno a tener en cuenta. Entre el periodo día y periodo tarde no se aprecian diferencias de una forma tan clara pero también existen.

Siempre con la idea en mente de reducir al máximo el número de variables que afecten al cálculo de los valores, se procedió a realizar un estudio de la relación entre variables.

Para ver la relación que existe, en un primer momento, se graficaron las variables de referencia con el resto de parámetros con el objetivo de observar algún patrón. Este hecho no tenía demasiado fundamento. Resulta muy difícil observar de manera experimental una relación directa. Era posible apreciar ciertas relaciones, especialmente aquellas que eran directamente proporcionales pero la cuantificación entre mayor y menor relación de unas variables respecto a otras era una tarea realmente compleja [23] [24].

Debido a este hecho, se buscaron otras formas de relacionar variables con fundamentos matemáticos para poder cuantificar numéricamente la contribución en mayor o menor medida.

Inicialmente hay dos herramientas para el estudio de la relación entre variables: La correlación y la covarianza.

- La covarianza es un indicador que mide la relación lineal entre dos variables. Nos muestra el grado de variación conjunta de dos variables respecto al promedio de las mismas. Es un buen indicador para ver la dirección de la relación entre variables.

Fórmula:

$$(40) S_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i}{n} - \bar{x}\bar{y}$$

-Si $S_{xy} > 0$ entonces tenemos una asociación lineal positiva lo que indica que los valores por encima del promedio de una variable están relacionados con los valores por encima del promedio de otra variable y los valores por debajo del promedio de esa misma variable están relacionados con los valores por debajo del promedio de la otra variable. Es decir, tenemos una relación directamente proporcional.

-Si $S_{xy} < 0$ entonces tenemos una asociación lineal negativa lo que indica que los valores por encima del promedio de una variable están relacionados con los valores por debajo del promedio de otra variable y los valores por debajo del promedio de esa misma variable están relacionados con valores por encima del promedio de la otra variable. Es decir, tenemos una relación inversamente proporcional.

-Si $S_{xy} = 0$ entonces no existe asociación lineal. Las variables no están relacionadas entre sí.

- La correlación es un indicador que mide la proporcionalidad entre dos variables, es decir, la relación que existe entre dos parámetros. Nos indica la dirección de la relación entre variables y el grado de fuerza entre las mismas. El coeficiente de correlación está relacionado con la covarianza de forma directamente proporcional. Una covarianza positiva indica una correlación positiva y una covarianza negativa producirá una correlación negativa.

Fórmula:

$$(41) r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y}$$

Siendo

- S_{xy} la covarianza

- S_x desviación típica de la variable X

- S_y desviación típica de la variable Y

Si desarrollamos la fórmula de la correlación, obtenemos las siguientes expresiones:

$$(42) r_{xy} = \frac{S_{xy}}{S_x S_y} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i \bar{x} \bar{y} n}{\sqrt{X_i^2 n \bar{x}^2} \sqrt{Y_i^2 n \bar{y}^2}}$$

-Si $r_{xy} = 0$, no existe relación lineal entre ambas variables. Esto no implica que las variables son independientes.

-Si $r_{xy} = 1$, existe una relación lineal positiva perfecta, es decir, las variables son dependientes y directamente proporcionales. Si aumenta la primera variable, la otra lo hará de forma proporcional.

-Si $r_{xy} = -1$, existe una relación lineal negativa perfecta, es decir, las variables son dependientes e inversamente proporcionales. Si aumenta la primera variable, la otra disminuirá de forma proporcional.

-Si $0 < r_{xy} < 1$, existe una relación lineal positiva que no es perfecta. Cuanto más se aproxime a la unidad, más dependencia entre variables habrá.

-Si $-1 < r_{xy} < 0$, existe una relación lineal negativa que no es perfecta. Cuanto más se aproxime a la unidad negativa, más dependencia entre variables habrá.

A priori ambos indicadores parecen muy semejantes, pero presentan una diferencia fundamental. La covarianza no está estandarizada, es decir, los valores no están ajustados para lograr una distribución normal. Adquiere, idealmente, valores tanto positivos como negativos entre $-\infty$ y $+\infty$. De esta manera, pese a que nos da información acerca de la dirección de la relación, no podemos cuantificar el grado de asociación entre variables debido a la falta de límites superior e inferior. La correlación, en cambio, sí está estandarizada y adquiere valores entre -1 y +1 por lo que podemos cuantificar el grado de dependencia de cada variable.

Por ello, se procedió a realizar la correlación. Así, el parámetro más cercano a la unidad (ya sea positiva o negativa) será el que más influencia tenga.

Para realizar el análisis se utilizó el programa SPSS, se introdujeron como variables dependientes los parámetros a comparar y como variable independiente el LA_{eq} .

El programa SPSS sólo permite realizar análisis con variables numéricas, por lo que para las variables tipo de vía y forma de vía fue necesario introducir un valor numérico que permitiera considerar la contribución de estos parámetros a los resultados [23] [24]. Se ha procedido de la siguiente manera:

Para la vía se han asignado los siguientes valores:

- Local: 1.
- Colectora: 2.
- Arterial: 3.

Para la forma se han asignado los siguientes valores:

- Tipo L: 1
- Tipo U: 2.
- Tipo _: 3.

El resultado de la correlación puede observarse en las siguientes tablas:

	L_d	Pesados	Ligeros	Vel	IMD _{día}	Vía	Forma	Altura
L_d								
Correlación	1	0,572**	0,571**	0,471**	0,572**	0	0,048	0,167*
Sig(bilateral)		0	0	0	0	0,997	0,565	0,045
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Pesados								
Correlación	0,572**	1	0,995**	0,616**	0,996**	-0,034	0,051	0,225**
Sig(bilateral)	0		0	0	0	0,683	0,541	0,007
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Ligeros								
Correlación	0,571**	0,995**	1	0,618**	1**	-0,041	0,051	0,210*
Sig(bilateral)	0	0		0	0	0,624	0,540	0,012
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Vel								

Correlación	0,471**	0,616**	0,618**	1	0,618**	-0,009	0,037	0,061
Sig(bilateral)	0	0	0		0	0,910	0,659	0,464
N	147	147	147	147	147	147	147	147
IMD_{día}								
Correlación	0,572**	0,996**	1**	0,618**	1	-0,4	0,051	0,211*
Sig(bilateral)	0	0	0	0		0,627	0,539	0,011
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Vía								
Correlación	0	-0,034	-0,041	-0,009	-0,4	1	-0,011	0,039
Sig(bilateral)	0,997	0,683	0,624	0,910	0,627		0,899	0,645
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Forma								
Correlación	0,048	0,051	0,051	0,037	0,051	-0,011	1	-0,064
Sig(bilateral)	0,565	0,541	0,540	0,659	0,539	0,899		0,444
N a	147	147	147	147	147	147	147	147
Altura								
Correlación	0,167*	0,225**	0,210*	0,061	0,211*	0,039	-0,064	1
Sig(bilateral)	0,045	0,007	0,012	0,464	0,011	0,645	0,444	
N	147	147	147	147	147	147	147	147

Tabla 13: Correlación de la variable L_e con respecto a otros parámetros.

	L_e	Pesados	Ligeros	Vel	IMD _{tarde}	Vía	Forma	Altura
L_e								
Correlación	1	0,526**	0,526**	0,334**	0,527**	0,028	0,066	0,197*
Sig(bilateral)		0	0	0	0	0,738	0,426	0,018
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Pesados								
Correlación	0,526**	1	0,995**	0,616**	0,996**	-0,034	0,051	0,225**
Sig(bilateral)	0		0	0	0	0,683	0,541	0,007
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Ligeros								
Correlación	0,526**	0,995**	1	0,618**	1**	-0,041	0,051	0,210*
Sig(bilateral)	0	0		0	0	0,624	0,540	0,012
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Vel								
Correlación	0,334**	0,616**	0,618**	1	0,618**	-0,009	0,037	0,061
Sig(bilateral)	0	0	0		0	0,910	0,659	0,464
N	147	147	147	147	147	147	147	147
IMD_{tarde}								
Correlación	0,527**	0,996**	1**	0,618**	1	-0,4	0,051	0,211*
Sig(bilateral)	0	0	0	0		0,627	0,539	0,011
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Vía								
Correlación	0,028	-0,034	-0,041	-0,009	-0,4	1	-0,011	0,039
Sig(bilateral)	0,738	0,683	0,624	0,910	0,627		0,899	0,645
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Forma								
Correlación	0,066	0,051	0,051	0,037	0,051	-0,011	1	-0,064
Sig(bilateral)	0,426	0,541	0,540	0,659	0,539	0,899		0,444
N a	147	147	147	147	147	147	147	147
Altura								
Correlación	0,197*	0,225**	0,210*	0,061	0,211*	0,039	-0,064	1
Sig(bilateral)	0,018	0,007	0,012	0,464	0,011	0,645	0,444	
N	147	147	147	147	147	147	147	147

Tabla 14: Correlación de la variable L_e con respecto a otros parámetros.

	L_n	Pesados	Ligeros	Vel	IMD _{noche}	Vía	Forma	Altura
L_n								
Correlación	1	0,464**	0,459**	0,241**	0,460**	0,021	0,079	0,198*
Sig(bilateral)		0	0	0,003	0	0,797	0,343	0,017
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Pesados								
Correlación	0,464**	1	0,995**	0,616**	0,996**	-0,034	0,051	0,225**
Sig(bilateral)	0		0	0	0	0,683	0,541	0,007
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Ligeros								
Correlación	0,459**	0,995**	1	0,618**	1**	-0,041	0,051	0,210*
Sig(bilateral)	0	0		0	0	0,624	0,540	0,012
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Vel								
Correlación	0,241**	0,616**	0,618**	1	0,618**	-0,009	0,037	0,061
Sig(bilateral)	0,003	0	0		0	0,910	0,659	0,464
N	147	147	147	147	147	147	147	147
IMD_{noche}								
Correlación	0,460**	0,996**	1**	0,618**	1	-0,4	0,051	0,211*
Sig(bilateral)	0	0	0	0		0,627	0,539	0,011
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Vía								
Correlación	0,021	-0,034	-0,041	-0,009	-0,4	1	-0,011	0,039
Sig(bilateral)	0,797	0,683	0,624	0,910	0,627		0,899	0,645
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Forma								
Correlación	0,079	0,051	0,051	0,037	0,051	-0,011	1	-0,064
Sig(bilateral)	0,343	0,541	0,540	0,659	0,539	0,899		0,444
N	147	147	147	147	147	147	147	147
Altura								
Correlación	0,198*	0,225**	0,210*	0,061	0,211*	0,039	-0,064	1
Sig(bilateral)	0,017	0,007	0,012	0,464	0,011	0,645	0,444	
N	147	147	147	147	147	147	147	147

Tabla 15: Correlación de la variable L_n con respecto a otros parámetros.

Los resultados mostrados en las tablas anteriores muestran los coeficientes de correlación de las variables analizadas. Si nos centramos en los parámetros L_d , L_e y L_n , los máximos valores corresponden a $IMD_{día}$, IMD_{tarde} e IMD_{noche} con los siguientes valores:

- L_d : 0,572 para $IMD_{día}$.
- L_e : 0,527 para IMD_{tarde} .
- L_n : 0,460 para IMD_{noche} .

El nivel de significancia para L_d , L_e y L_n es del 0.05, esto significa que el riesgo de concluir que existe una correlación cuando en realidad no es así es del 5%.

El nivel de Sig(bilateral) indica la aceptación o no de la hipótesis nula. En nuestro caso adquiere el valor cero en todos los casos por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Es importante resaltar que, en todos los casos anteriormente analizados, el número de vehículos ligeros y pesados tiene también una gran importancia en la obtención del resultado,

podemos ver que el coeficiente de correlación entre $IMD_{día}$, IMD_{tarde} e IMD_{noche} con respecto a vehículos ligeros y vehículos pesados es la unidad o cifras cercanas a la misma. Esto se explica debido a que el valor de vehículos ligeros y pesados obtiene directamente de los IMD globales por lo que en realidad estamos comparando las mismas variables, la diferencia entre ambas es una constante distinta que multiplica a los valores de IMD.

Por todo lo anterior, podemos concluir que el parámetro que más influye en la obtención de los niveles de LA_{eq} es el IMD.

4.3.-Modelos Analizados

Debido al resultado obtenido en el apartado 4.2, se procede a buscar una fórmula matemática que permita obtener los valores de L_d , L_e y L_n únicamente utilizando como entrada la variable de los IMD correspondiente a cada periodo horario.

Se plantea la posibilidad de realizar correcciones en función de otros parámetros si los resultados obtenidos no son satisfactorios. Para realizar este tipo de correcciones sin hacer más complejo el modelo planteado, se procedería a realizar un diagrama de dispersión para ver el comportamiento de las muestras en función de las variables y establecer una serie de umbrales a partir de los cuales obtener el promedio y sumar o restar unos valores constantes a los resultados obtenidos.

Debido al carácter especial de los distintos periodos horarios, se estudia separadamente cada uno de los casos: L_d , L_e y L_n .

Se realiza un análisis de regresión de las tres variables con su correspondiente IMD. El análisis de regresión consiste en estimar la relación que existe entre dos variables. Una considerada como variable dependiente, que serían L_d , L_e y L_n y otra u otras consideradas como variables independientes que son aquellas que se utilizan para predecir el valor de la variable dependiente, en este caso sería el IMD. El método de regresión nos da información sobre cambios en el valor de la variable dependiente al modificar la variable independiente, dejando el resto fijas si las hubiera.

Para ver qué modelo matemático se adapta mejor a las necesidades de cada caso particular, se estudian un total de 11 modelos de estimación curvilínea. La estimación curvilínea genera estadísticos por regresión que se adaptan a la distribución de la variable analizada [23] [24]. Los modelos analizados se detallan a continuación:

- 1.- Modelo lineal: $Y = b_0 + (b_1 * t)$
- 2.- Modelo logarítmico: $Y = b_0 + (b_1 * \ln(t))$
- 3.- Modelo Inverso: $Y = b_0 + (b_1 / t)$
- 4.- Modelo cuadrático: $Y = b_0 + (b_1 * t) + (b_2 * t^{**2})$
- 5.- Modelo Cúbico: $Y = b_0 + (b_1 * t) + (b_2 * t^{**2}) + (b_3 * t^{**3})$
- 6.- Modelo de Potencia: $Y = b_0 * (t^{**b_1})$ ó $\ln(Y) = \ln(b_0) + (b_1 * \ln(t))$
- 7.- Modelo Compuesto: $Y = b_0 * (b_1^{**t})$ o $\ln(Y) = \ln(b_0) + (\ln(b_1) * t)$
- 8.- Modelo de Curva-S: $Y = e^{**}(b_0 + (b_1/t))$ o $\ln(Y) = b_0 + (b_1/t)$
- 9.- Modelo de Logística: $Y = 1 / (1/u + (b_0 * (b_1^{**t})))$ o $\ln(1/y-1/u) = \ln(b_0) + (\ln(b_1) * t)$
- 10.- Modelo de Crecimiento: $Y = e^{**}(b_0 + (b_1 * t))$ ó $\ln(Y) = b_0 + (b_1 * t)$

- 11.- Modelo Exponencial: $Y = b_0 * (e^{b_1 * t})$ ó $\ln(Y) = \ln(b_0) + (b_1 * t)$

Siendo

- b_0 , b_1 , b_2 y b_3 los coeficientes obtenidos al aplicar los distintos modelos.

-u el valor del límite superior en el modelo de Logística, este parámetro tiene que ser superior al valor máximo de la variable.

-t la variable independiente.

-Y la variable dependiente.

Para saber qué modelo de los anteriormente citados debemos aplicar para cada uno de los casos, hay cuatro parámetros importantes que debemos mencionar:

- R múltiple: Nos indica el coeficiente de correlación múltiple; se trata de un parámetro que indica el grado de asociación lineal entre una variable predictora (independiente) y la variable dependiente.

$$(43) R = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}}$$

El valor de R varía entre -1 y 1.

- R cuadrado: Nos indica el coeficiente de determinación, que expresa la proporción de la varianza de la variable dependiente a la que contribuye la variable independiente. Es decir, la variación de la variable Y respecto a la recta de regresión predicha por el modelo. Se define como R múltiple al cuadrado. Además, se cumple:

$$(44) 1 - R^2 = \frac{SSE}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{y})^2}$$

Siendo SSE la suma de cuadrados de los residuos, de tal manera que, si toma el valor cero, el ajuste sería perfecto y la curva de regresión estimada coincidiría con los puntos de la variable dependiente, siendo $R=1$.

- R cuadrado-correctado: Nos indica el cambio en R cuadrado que se produce al añadir o eliminar una nueva variable independiente, si el cambio obtenido es elevado, muestra que la nueva variable influye de manera significativa en la obtención del resultado de la variable dependiente.
- Error estándar de la estimación: Es la desviación estándar de los residuos. Mide la precisión con la que el modelo estima el valor del coeficiente que es desconocido.

Por tanto, por lo visto anteriormente, el parámetro que nos interesa para ver cuál es el modelo que más se ajusta a los valores dados por nuestras variables dependientes es el R cuadrado, y bajo este parámetro analizaremos los modelos. Cuanto más se acerque este valor a la unidad, más preciso será el método a utilizar. Cabe destacar que el valor de R^2 por norma general será reducido, ya que es el cuadrado de R y como se menciona anteriormente, toma valores entre -

1 y 1. Por lo que un valor no ideal (distinto de 1), al ser elevado al cuadrado, producirá valores de R2 más pequeños que el tomado por R [23] [24].

Entre los parámetros obtenidos por SPSS encontramos, a parte de los definidos anteriormente, los siguientes:

-gl1 y gl2 corresponden a los grados de libertad, que se definen como el rango dentro del cual una medida de resumen puede adoptar diferentes valores. Es decir, corresponde a los valores que pueden ser adoptados de forma arbitraria por un conjunto de observaciones.

4.3.1.-Modelos para L_d

En el método de Logística se ha puesto como valor límite superior 77 ya que el valor máximo de los datos es 76. Se ha introducido como variable dependiente L_d y como variable independiente $IMD_{día}$ y se ha procedido a calcular los modelos mencionados. El resultado se muestra a continuación:

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R2	F	gl1	gl2	Sig.	Cte	b1	b2	b3
Lineal	0,372	70,364	1	147	0	64,857	0		
Logarítmico	0,349	84,914	1	147	0	54,290	1,577		
Inverso	0,072	11,253	1	147	0,001	67,273	-305,04		
Cuadrático	0,355	46,965	2	147	0	63,918	0,001	-1,4E-8	
Cúbico	0,302	32,009	3	147	0	63,591	0,001	-3,6E-8	4,919E-13
Compuesto	0,312	65,771	1	147	0	64,760	1		
Potencia	0,358	80,841	1	147	0	55,180	0,024		
S	0,070	10,839	1	147	0,001	4,207	-4,606		
Crecimiento	0,312	65,771	1	147	0	4,171	4,49E-6		
Exponencial	0,312	65,771	1	147	0	64,760	4,49E-6		
Logística	0,282	56,890	1	147	0	0,002	1		

Tabla 16: Resumen modelos y estimaciones para L_d .

Atendiendo al valor de R cuadrado, vemos que el modelo de Potencia es el que más se aproxima a nuestra variable dependiente, con un coeficiente de 0,358. Aunque pueda parecer un valor pequeño puesto que R cuadrado va entre 0 y 1. Como se explica anteriormente, al ser el cuadrado de R que varía entre -1 y 1, si el modelo no toma valores ideales o muy cercanos a la unidad, el valor de R2 será reducido. En realidad, si observamos el valor de R sería de 0,6. Por lo que, considerando esto, para el indicador de día procederemos a aplicar el método de potencia. En la siguiente gráfica se puede observar el comportamiento de las curvas de los diferentes métodos en relación con las muestras analizadas:

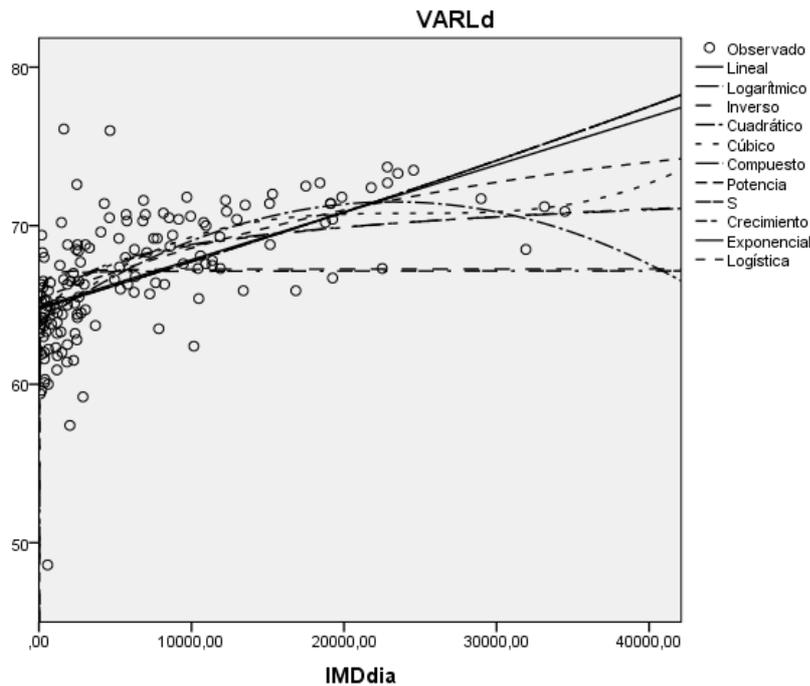


Figura 18: Aproximaciones de modelos a L_d .

Nos centramos por tanto en el modelo de potencia para este caso, Se detallan los parámetros definidos en el apartado 4.3 y los coeficientes para obtener el resultado.

R	R2	R2 ajustado	Error estándar de la estimación
0,598	0,358	0,354	0,049

Tabla 17: Resumen del modelo de potencia para L_d .

	Coef no estandarizados		Coef estandarizados		t	Sig.
	B	Error estándar	Beta			
In(IMD_{dia})	0,024	0,003	0,598		8,991	0
Constante	55,180	1,190			46,355	0

Tabla 18: Coeficientes del modelo de potencia para L_d .

De esta manera, aplicamos la fórmula del método de Potencia que es la siguiente: $Y = b_0 * (t^{**}b_1)$, por lo que introduciendo b_0 y b_1 y cambiando el nombre de t e Y por las variables analizadas, obtendríamos la siguiente expresión:

$$(45)L_d = 55,18 * (IMD_{dia}^{0,024})$$

4.3.2.-Modelos para L_e

En el método de Logística se ha puesto como valor límite superior 77 ya que el valor máximo de los datos es 76. Se ha introducido como variable dependiente L_e y como variable

independiente IMD_{tarde} y se ha procedido a calcular los modelos mencionados. El resultado se muestra a continuación:

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R2	F	gl1	gl2	Sig.	Cte	b1	b2	b3
Lineal	0,267	55,614	1	147	0	63,693	0,001		
Logarítmico	0,238	55,810	1	147	0	55,810	1,470		
Inverso	0,067	10,467	1	147	0,002	66,103	-90,162		
Cuadrático	0,219	33,786	2	147	0	62,899	0,002	-1,5E-7	
Cúbico	0,221	22,499	3	147	0	62,749	0,002	-2,7E-7	9,829E-12
Compuesto	0,263	51,676	1	147	0	63,570	1		
Potencia	0,267	52,940	1	147	0	55,326	0,026		
S	0,065	10,145	1	147	0,002	4,189	-1,399		
Crecimiento	0,263	51,676	1	147	0	4,152	1,59E-6		
Exponencial	0,263	51,676	1	147	0	63,570	1,59E-6		
Logística	0,267	53,143	1	147	0	0,003	1		

Tabla 19: Resumen modelos y estimaciones para L_e .

Pese a que hay tres modelos con el mismo valor de R2: Lineal, Potencia y logística. Para la selección de uno de ellos, nos decantamos por el modelo más sencillo. En este caso sería el modelo lineal. El problema viene que al observar el diagrama de dispersión de la figura 19, vemos que el modelo lineal para valores elevados de IMD comete muchos errores. Por tanto, tomamos como referencia el siguiente modelo más sencillo que es el caso del de potencia. Para valores elevados de IMD logra una mejor aproximación que el modelo Lineal y, además, es más sencillo que el modelo de logística. Aunque el valor de R2 para este modelo parezca pequeño: 0,267. Si observamos el valor de R es de 0,52.

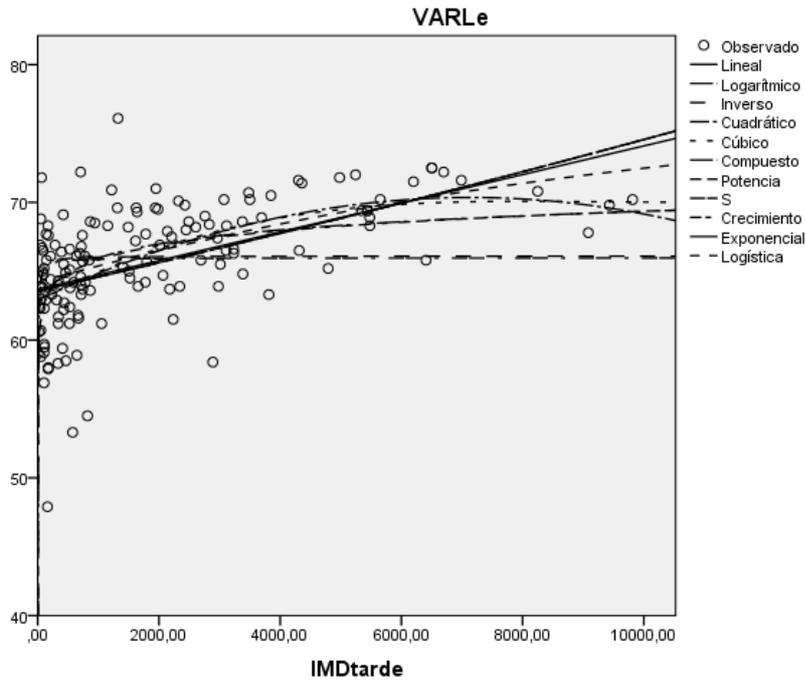


Figura 19: Aproximaciones de modelos a L_e .

Nos centramos por tanto en el modelo de potencia para este caso, Se detallan los parámetros definidos en el apartado 4.3 y los coeficientes para obtener el resultado.

R	R2	R2 ajustado	Error estándar de la estimación
0,517	0,267	0,262	0,058

Tabla 20: Resumen del modelo de potencia para L_e .

	Coef no estandarizados		Coef estandarizados	t	Sig.
	B	Error estándar	Beta		
ln(IMDtarde)	0,026	0,003	0,517	7,276	0
Constante	55,326	1,211		46,467	0

Tabla 21: Coeficientes del modelo de potencia para L_e .

De esta manera, aplicamos la fórmula del método de Potencia que es la siguiente: $Y = b_0 * (t^{**}b_1)$, por lo que introduciendo b_0 y b_1 y cambiando el nombre de t e Y por las variables analizadas, obtendríamos la siguiente expresión:

$$(46)Ld = 55,326 * (IMDtarde^{0,026})$$

Como vemos el resultado de esta ecuación es muy similar al periodo día, ya que no hay apenas variación de los datos entre ambos periodos. Podría considerarse una única ecuación para ambos casos con el fin de simplificar aún más los parámetros, pero como tampoco conlleva grandes cambios procederemos a su estudio de manera separada ya que lo hemos clasificado como casuísticas diferentes.

4.3.3.-Modelos para L_n

En el método de Logística se ha puesto como valor límite superior 77 ya que el valor máximo de los datos es 76. Se ha introducido como variable dependiente L_n y como variable independiente IMD_{noche} y se ha procedido a calcular los modelos mencionados. El resultado se muestra a continuación:

Ecuación	Resumen del modelo					Estimaciones de parámetro			
	R2	F	gl1	gl2	Sig.	Cte	b1	b2	b3
Lineal	0,211	38,812	1	147	0	59,596	0,002		
Logarítmico	0,177	31,159	1	147	0	53,828	1,286		
Inverso	0,037	5,563	1	147	0	61,845	-34,558		
Cuadrático	0,237	22,368	2	17	0	58,193	0,004	-5,6E-7	
Cúbico	0,238	14,867	3	147	0	58,543	0,005	-1,3E-6	1,051E-10
Compuesto	0,201	36,486	1	147	0	59,407	1		
Potencia	0,173	30,270	1	147	0	53,904	0,022		
S	0,037	5,518	1	147	0	4,122	-0,585		
Crecimiento	0,201	36,486	1	147	0	4,084	4,50E-6		
Exponencial	0,201	36,486	1	147	0	59,407	3,50E-6		
Logística	0,218	40,410	1	147	0	0,004	1		

Tabla 22: Resumen modelos y estimaciones para L_n .

Atendiendo al valor de R cuadrado, vemos que el modelo Cúbico es el que más se aproxima a nuestra variable dependiente, con un coeficiente de 0,238. Por lo que para el indicador de noche procederemos a aplicar este método. En la siguiente gráfica se puede observar el comportamiento de la curva del método cúbico en relación con las muestras analizadas:

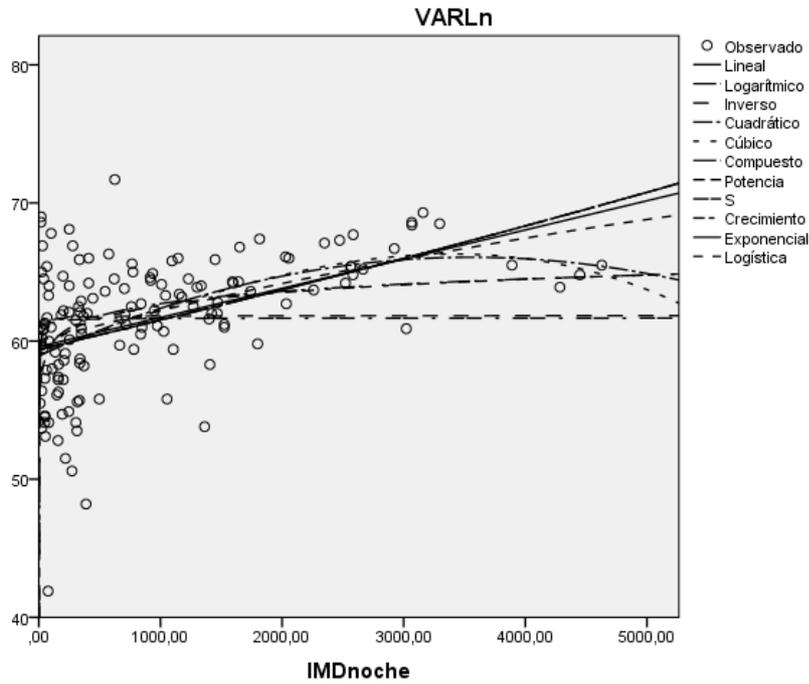


Figura 20: Aproximaciones de modelos a L_n .

Nos centramos por tanto en el modelo cúbico para el periodo noche. Se detallan los parámetros definidos en el apartado 4.3 y los coeficientes para obtener el resultado.

R	R2	R2 ajustado	Error estándar de la estimación
0,488	0,238	0,222	4,145

Tabla 23: Resumen del modelo de potencia para L_n .

	Coef no estandarizados		Coef estandarizados		T	Sig.
	B	Error estándar	Beta			
$\ln(\text{IMD}_{\text{tarde}})$	0,005	0,002	0,737		1,709	0,090
$\text{IMD}_{\text{tarde}}^{**2}$	-1,33E-6	0	-0,085		-0,084	0,933
$\text{IMD}_{\text{tarde}}^{**3}$	1,05E-10	0	-0,238			
Constante	55,352	0,648			91,170	0

Tabla 24: Coeficientes del modelo de potencia para L_n .

De esta manera, aplicamos la fórmula del método Cúbico que es la siguiente:

$Y = b_0 + (b_1 * t) + (b_2 * t^{**2}) + (b_3 * t^{**3})$, por lo que introduciendo b_0 , b_1 , b_2 y b_3 , y cambiando el nombre de t e Y por las variables analizadas, obtendríamos la siguiente expresión:

$$(47)L_n = 58,543 + (0,005 * \text{IMDnoche}) + ((-1,338 * 10^{-6}) * \text{IMDnoche}^2) + ((1,051 * 10^{-10}) * \text{IMDnoche}^3)$$

4.4.-Resultados

En este apartado se analizan los resultados obtenidos al aplicar las fórmulas 45, 46 y 47 del apartado 4.3. En el caso de que los porcentajes de acierto no superen el 90%, se procederá a aplicar correcciones en función de otros parámetros mediante la realización de diagramas de dispersión de los mismos respecto a los valores de referencia: L_d , L_e y L_n . Se establecerán unos umbrales en función de la distribución de los valores y se calculará el promedio de estos dentro del rango dado por el umbral. Posteriormente, se sumará o restará dicho promedio del resultado obtenido por los métodos del apartado 4.3 en función de las características determinadas por el umbral para afinar el porcentaje de acierto.

Para calcular el porcentaje de acierto se han utilizado dos indicadores:

- **Error Absoluto:** Es la diferencia entre el valor de la medida real y el valor calculado mediante las ecuaciones del apartado 4.3. Puede tomar valores tanto positivos como negativos en función de si el valor calculado es menor o mayor que la medida real respectivamente. Si bien, en nuestro caso se ha calculado el valor absoluto del Error absoluto para finalmente calcular un promedio del error cometido en todos los puntos de medida. El error absoluto es un indicador de la imprecisión que tiene una media. Se define como:

$$(48) Ea = Y - Yi$$

Siendo

Y: Valor real de la medida.

Yi: Valor aproximado calculado por las fórmulas.

- **Error Relativo:** Es el cociente entre el error absoluto y la medida real obtenida. Puede adoptar valores positivos y negativos ya que el error absoluto también puede hacerlo, al haber calculado en este caso el valor absoluto del error absoluto, sólo adoptará valores positivos. Se multiplica su valor por 100 para obtener el porcentaje de acierto o de error. El error relativo es un indicador de la calidad de una medida. Cuanto menor sea el error, mejor será la calidad del modelo. Se define como:

$$(49) Er = \frac{Ea}{Yi} * 100$$

Siendo

Ea: Error absoluto.

Yi: Valor real de la medida.

A continuación, se muestran los valores de algunos de los puntos obtenidos. En la tabla se pueden observar los valores reales de L_d , L_e y L_n , los valores aproximados utilizando las fórmulas de L_{d1} , L_{e1} y L_{n1} y los errores absoluto y relativo de cada uno de ellos:

L_d	L_e	L_n	L_{d1}	Ea	Er	L_{e1}	Ea	Er	L_{n1}	Ea	Er
64,90	64,40	63,80	64,68	0,22	0,33	63,61	0,79	1,23	59,03	4,77	7,47
65,30	65,80	61,70	64,06	1,24	1,90	62,94	2,86	4,34	58,87	2,83	4,58
64,70	63,60	64,20	66,90	2,20	3,40	65,97	2,37	3,72	60,37	3,83	5,96
67,60	65,80	62,50	68,74	1,14	1,69	67,94	2,14	3,25	62,95	0,45	0,72
68,80	66,50	62,70	69,52	0,72	1,05	68,77	2,27	3,42	64,06	1,36	2,17
66,30	66,90	65,00	67,69	1,39	2,10	66,82	0,08	0,12	61,33	3,67	5,65
66,50	64,20	65,90	66,28	0,22	0,33	65,31	1,11	1,73	59,83	6,07	9,20
66,30	66,60	62,10	66,11	0,19	0,29	65,12	1,48	2,22	59,71	2,39	3,85
72,60	72,20	65,90	69,99	2,61	3,59	69,28	2,92	4,05	64,36	1,54	2,34
70,40	68,90	63,60	69,26	1,14	1,62	68,50	0,40	0,58	63,75	0,15	0,23
63,00	66,50	64,50	63,27	0,27	0,43	62,10	4,40	6,61	58,74	5,76	8,93
68,80	68,60	66,00	66,90	1,90	2,77	65,97	2,63	3,84	60,37	5,63	8,53
66,10	66,70	60,80	63,01	3,09	4,68	61,82	4,88	7,31	58,71	2,09	3,44
62,80	64,60	55,70	66,57	3,77	6,00	65,62	1,02	1,57	60,07	4,37	7,84
62,50	62,40	62,10	66,11	3,61	5,77	65,12	2,72	4,36	59,71	2,39	3,85
68,50	67,70	62,70	68,06	0,44	0,64	67,21	0,49	0,72	61,86	0,84	1,34
65,20	63,90	60,20	62,45	2,75	4,21	61,23	2,67	4,17	58,66	1,54	2,56
71,60	71,00	64,40	68,21	3,39	4,74	67,37	3,63	5,11	62,09	2,31	3,58
63,70	65,20	61,30	64,43	0,73	1,15	63,34	1,86	2,86	58,96	2,34	3,82
62,30	62,90	56,10	65,29	2,99	4,80	64,25	1,35	2,15	59,26	3,16	5,63
64,00	63,90	61,00	61,76	2,24	3,51	60,49	3,41	5,33	58,62	2,38	3,91
73,30	72,20	69,30	70,26	3,04	4,15	69,57	2,63	3,65	64,30	5,00	7,22
65,10	61,80	53,50	66,47	1,37	2,11	65,51	3,71	6,01	59,98	6,48	12,12
64,90	68,30	63,30	64,33	0,57	0,88	63,23	5,07	7,43	58,94	4,36	6,90

Tabla 25: Valores de los modelos.

Posteriormente se realizó el promedio de todos los valores anteriores. Se calculó la media de todos los Ea y Er correspondientes a cada uno de los parámetros de medida. Como lo que nos interesaba era el porcentaje de acierto, se calculó restando al valor del 100 por 100 el promedio obtenido de los errores relativos de L_d , L_e y L_n . En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

	Ea(L_d)	Er(L_d) %	Ea(L_e)	Er(L_e) %	Ea(L_n)	Er(L_n)%
Valor	1,901569102	2,8580899	2,16268833	3,33189184	2,5406914	4,186283
Acierto		97,14191		98,767553		95,813716

Tabla 26: Errores absoluto y relativo promedios y porcentaje de acierto.

La fila Valor de la tabla 24 hace referencia al valor promedio de los errores absolutos en unidades naturales y al valor promedio en tanto por ciento de los errores relativos de cada periodo de franja horaria.

La fila Acierto hace referencia al porcentaje de acierto de los valores aproximados por los modelos para cada franja horaria. Se calcula restando el total de acierto (100%) a los errores relativos en tanto por ciento de cada modelo. Obteniendo de esta manera el porcentaje de acierto para cada modelo predicho comparando los datos aproximados por las fórmulas calculadas en el apartado 4.3 con los datos de los diferentes puntos de medida.

Como podemos observar en la tabla 24, los resultados globales de porcentaje de acierto para L_d , L_e y L_n son superiores al 90%. Por lo tanto, no se considera necesaria la realización de los diagramas de dispersión. Éstos se utilizarían para realizar un análisis más detallado en función del resto de parámetros evaluando su influencia en los resultados. De proceder a realizarlos, se aumentarían los porcentajes de acierto, pero también la complejidad del método y la necesidad de emplear un mayor número de variables. Por ello, se consideró que los porcentajes de acierto obtenidos eran suficientes para los objetivos fijados, logrando resultados mejores a los previstos inicialmente.

5.Simplificación del método de predicción de ruido

5.1.-Introducción

La realización del método de predicción de niveles sonoros del apartado 4 obtiene valores muy próximos a las medidas reales simplificando de manera significativa los modelos previos. Como se mencionó en el apartado 4.1, al no poder ser utilizado en la realización de mapas de ruido por la normativa nacional, pierde todo su potencial. Ya que, aunque los valores son muy exactos, la realización de los mapas no tendría validez legal.

Por eso, el potencial de este modelo se centra en la realización previa de mapas de ruido. Si conocemos previamente los posibles valores de las vías, sabremos con mayor exactitud donde colocar las estaciones de medida, logrando unos mapas de ruido más precisos.

El problema del método de predicción obtenido es que, a pesar de su sencillez, requiere del valor exacto de los IMD de las vías. Esto presentaba un problema ya que, aunque únicamente depende del número de vehículos diarios que circulan por una vía, necesitamos este valor para obtener los resultados. El cálculo de dicho valor requiere de estaciones de medida en puntos estratégicos calculando el número de IMD anuales para realizar el promedio diario. Por lo que el estudio previo del mapa de ruido estaría implicando la necesidad de datos medidos en el emplazamiento, es decir, necesitamos valores experimentales. Por todo esto, se plantea realizar una simplificación del método sin necesidad de hallar estos datos.

La idea es obtener un método para realizar un análisis previo que no dependa de factores que requieran de la obtención de datos en las vías. Un modelo que simule la emisión acústica de las vías sin coste ni requerimientos físicos.

De esta manera, se trata ahora de buscar la forma de realizar la simplificación de tal modo que no sea necesario introducir el número de IMD. Intentando obtener unos resultados globales satisfactorios (con una tasa de acierto superior al 90 por ciento). Con este nuevo objetivo fijado, se procedió a realizar una clasificación en función de los parámetros del apartado 3.2. Se busca obtener valores globales para tipos de vías mediante las fórmulas del apartado 4.3 y aplicar correcciones según sus características y distinciones.

Así, podemos analizar los requerimientos previos a la realización del mapa de ruido en una ciudad únicamente con factores que pueden observarse directamente utilizando una herramienta tan simple como Google Maps. Con sólo identificar las características de una vía, poder tener un valor aproximado de los niveles de ruido.

5.2.-Clasificación

Para realizar la clasificación se utilizó el valor experimental de los datos obtenidos. Es por esto por lo que en función del tipo de vía clasificaremos de una u otra forma atendiendo a parámetros diferentes.

Existe una primera gran clasificación en función del tipo de vía: Local, Colectora y Arterial. Pero dentro de estas tres categorías la subclasificación es diferente, ya que, los mismos parámetros no influyen de la misma manera en cada una de las vías mencionadas.

Procederemos por tanto a una clasificación más exhaustiva en función del tipo de vía:

5.2.1.-Vías Locales

Primeramente, se realizó un promedio del total de IMD de todas las vías locales. Se promediaron de forma separada los parámetros $IMD_{día}$, IMD_{tarde} e IMD_{noche} para calcular mediante las fórmulas del apartado 4.3 los valores correspondientes a L_d , L_e y L_n . Se obtuvieron los siguientes valores:

IMD promedio total	IMD_{día} promedio	IMD_{tarde} promedio	IMD_{noche} promedio
1050 veh/día	740,04 veh/día	210,63 veh/día	99,33 veh/día

Tabla 27: Promedio IMD en función de franja horaria para vías locales.

Al aplicar las fórmulas del método de predicción de ruido a los valores calculados anteriormente, encontramos los siguientes valores:

L_d(dBA)	L_e(dBA)	L_n(dBA)
64,661209	63,581819	59,0205517

Tabla 28: Valores de L_d , L_e y L_n para vías locales.

Se trataría de los valores globales para todas las vías locales, para afinar más el resultado se procede a realizar un análisis más profundo. Con los datos mencionados en el apartado 3.2, la clasificación de las vías locales se caracterizaba principalmente por la forma de la vía. Por lo que se procedió a clasificar las vías locales en dos grandes apartados, forma tipo U y forma tipo L. Las vías de la forma tipo _ se incluyen dentro de las de tipo L, pues su número era tan reducido que no se podía considerar como una tipología aparte, además, los valores son muy similares a los obtenidos por el tipo L.

- Tipo U: Dentro de esta clasificación la velocidad es el parámetro más importante para realizar una distinción de los niveles acústicos. De todas las vías Locales analizadas, que además sean de tipo U, sólo se observaron dos tipos de velocidades máximas de circulación:
 - 20 Km/h: El último parámetro de análisis para este tipo de categorías corresponde al porcentaje de vehículos pesados en las vías. Se observaron tres porcentajes distintos:
 - 1%
 - 3%
 - 5%
 - 30Km/h: Para esta velocidad también se observaron tres porcentajes diferentes de vehículos pesados:
 - 1%
 - 3%
 - 5%
- Tipo L: La velocidad también es el parámetro más importante dentro de esta clasificación. En este caso encontramos tres velocidades distintas para este tipo de vías:
 - 20 Km/h: Con un porcentaje de las vías del 5% en todas aquellas cuya velocidad máxima de circulación es de 20 Km/h.
 - 30 Km/h: Dentro de esta categorización encontramos dos tipos en función del porcentaje de vehículos pesados:
 - 3%

- 5%
 - 50 Km/h: Todas las vías con esta velocidad máxima de circulación tenían un porcentaje de vehículos pesados del 5%.

Podemos observar que hay determinados casos en los que la clasificación parece insuficiente, sería más preciso un método en el que se llegara a la clasificación de, por ejemplo, varios porcentajes de vehículos pesados dentro de la velocidad de 50 Km/h de las vías con forma de L del tipo local. Ya que existe la posibilidad de que en alguna ciudad exista una vía con esas características. Para ello se necesitaría de una base de datos muy amplia y precisa con varias calles que cumplieran esos requisitos para poder realizar un modelo fiable. No obstante, tal precisión no es necesaria ya que los valores son aproximados y no se producen variaciones muy grandes. Por ejemplo, la diferencia entre el porcentaje de vehículos pesados del 3% y 5% dentro de la velocidad de 30 Km/h para vías de la forma L del tipo Local es menor a 1 dBA. Por lo que tal precisión no es relevante en este caso. Para la casuística particular de una vía cuyas características no se adapten a las anteriormente mencionadas, se procedería a aplicar aquel caso más cercano a la misma. Por ejemplo, para una vía Local, de tipo L, cuya velocidad máxima es de 30 Km/h y que además tuviera un porcentaje de vehículos pesados del 1%, se aplicaría el caso del 3% por ser el más cercano.

A continuación, se muestran las correcciones aplicadas a los cálculos promedio de la tabla 26 para los casos descritos anteriormente:

TIPO U	L_d (dBA)	L_e (dBA)	L_n (dBA)
20 km/h 1% veh pes	-0,071209	+0,288181	+1,3194483
20 km/h 3% veh pes	-0,5278757	+1,384847666	+3,1794483
20 km/h 5% veh pes	-2,661209	+1,918181	+3,1794483
30 km/h 1% veh pes	+0,538791	+0,318181	+1,1794483
30 km/h 3% veh pes	-1,671209	-1,661819	-1,3705517
30 km/h 5% veh pes	-0,923209	-1,587819	-1,2725517

Tabla 29: Correcciones para vía local tipo U.

TIPO L	L_d (dBA)	L_e (dBA)	L_n (dBA)
20 km/h 5% veh pes	-3,761209*	-5,281819*	-6,2205517*
30 km/h 3% veh pes	-2,186209	-1,656819	-1,5955517
30 km/h 5% veh pes	-3,161209*	-4,681819*	-4,9205517*
50 km/h 5% veh pes	+4,138791	+0,218181	+1,0794483

Tabla 30: Correcciones para vía local tipo L.

*Las medidas han sido promediadas con un número inferior a 3 vías de ese tipo.

5.2.2.-Vías Colectoras

Primeramente, se realizó un promedio del total de vehículos promedio de todas las vías colectoras. Se promediaron de forma separada los parámetros $IMD_{día}$, IMD_{tarde} e IMD_{noche} para calcular mediante las fórmulas del apartado 4.3 los valores correspondientes a L_d , L_e y L_n y posteriormente se realizó el promedio de los IMD totales. Se obtuvieron los siguientes valores:

IMD Promedio Total	IMD _{día} promedio	IMD _{tarde} promedio	IMD _{noche} promedio
10013,7298 veh/día	7057,67677 veh/día	2008,7542 veh/día	947,298839 veh/día

Tabla 31: Promedio IMD en función de franja horaria para vías colectoras.

Al aplicar las fórmulas del método de predicción de ruido a los valores calculados anteriormente, encontramos los siguientes valores:

L_d (dBA)	L_e (dBA)	L_n (dBA)
68,2573744	67,4213616	62,16815

Tabla 32: Valores de L_d , L_e y L_n para vías colectoras.

Se trataría de los valores globales para todas las vías Colectoras. Podemos ver que los valores son superiores a los de las vías Locales ya que circula un mayor número de vehículos por las vías. Para afinar más el resultado, procedemos a realizar un análisis más profundo. Con los datos mencionados en el apartado 3.2, se realiza una primera clasificación atendiendo a la forma de la vía. En este caso concreto de tipo de vía Colectora, no existía ninguna con la característica especial de forma tipo $_$, pero en caso de ser encontrada en otra ciudad, se incorporaría dentro del tipo L.

- Tipo U: Al igual que sucedía en las vías locales, se clasificó en función de la velocidad máxima de la vía. Encontramos por tanto tres tipos de velocidades dentro de esta categoría:
 - 20 Km/h: Todas las vías que cumplían con estas características disponían de un porcentaje de vehículos pesados del 5%. Además, el tipo de asfalto para esta configuración es de tipo 1.
 - 30 Km/h: Al igual que para el caso de 20 Km/h, todas las vías cumplían con una característica de vehículos pesados del 5%. Además, el tipo de asfalto para esta configuración es de tipo 1.
 - 50 km/h: Como en los casos anteriores, el porcentaje de vehículos pesados es del 5%, pero aquí diferenciamos entre tres tipos diferentes de asfalto atendiendo al apartado 3.2 donde se definen.
 - Tipo 0
 - Tipo 1
 - Tipo 2
- Tipo L: Aquí se incluyen todas las casuísticas del resto de parámetros, ya que no se observó un patrón común para diferentes velocidades o tipos de asfalto. Se procedió a promediar los valores de todas las vías Colectoras que fueran de tipo L.

Como podemos observar, los parámetros analizados en este caso no coinciden totalmente con los analizados en el tipo de vía Local. Aquí, por ejemplo, atendemos al tipo de asfalto acústicamente hablando mientras que en las vías locales nos centrábamos más en el

porcentaje de vehículos pesados. Este hecho no implica que el factor de vehículos pesados influya menos en las vías Colectoras que en las vías Locales, como hemos podido comprobar en el apartado 3.2, se trata de un parámetro que influye de manera significativa en la obtención de los resultados. Si bien, se da el caso que, para prácticamente la totalidad de vías colectoras, el porcentaje se mantiene de manera fija en el 5% de vehículos pesados. Por lo que no tiene interés en la clasificación, aunque sí influya en el resultado. Por ello, nos centramos más en parámetros como la velocidad o el tipo de asfalto, ya que es un parámetro que sí sufre variaciones entre una y otra vía.

A continuación, se muestran las correcciones aplicadas a los cálculos promedio de la tabla 30 para los casos descritos anteriormente:

TIPO L	L_d (dBA)	L_e (dBA)	L_n (dBA)
Todas	-2,3907077	-2,83802827	-1,70148333

Tabla 33: Correcciones para vía colectora tipo L.

TIPO U	L_d (dBA)	L_e (dBA)	L_n (dBA)
20 km/h 5% veh pes Asf Tipo 1	+0,2426256	+0,1536384	+0.20685
30 km/h 5% veh pes Asf Tipo 1	-0,6018189	-0.8213616	+0.85407222
50 km/h 5% veh pes Asf Tipo 0	+4,4926256	+3,9286384	+4,73185
50 km/h 5% veh pes Asf Tipo 1	-0,287004	-0,8065468	+0,0911093
50 km/h 5% veh pes Asf Tipo 2	-0,9173744	-1,2413616	+0,72815

Tabla 34: Correcciones para vía colectora tipo U.

5.2.3.-Vías Arteriales

Primeramente, se realizó un promedio del total de vehículos promedio de todas las vías arteriales. Se promediaron de forma separada los parámetros $IMD_{día}$, IMD_{tarde} e IMD_{noche} para calcular mediante las fórmulas del apartado 4.3 los valores correspondientes a L_d , L_e y L_n y posteriormente se realizó el promedio de los IMD totales. Se obtuvieron los siguientes valores:

IMD Promedio Total	$IMD_{día}$ promedio	IMD_{tarde} promedio	IMD_{noche} promedio
25210,6297 veh/día	17768,4518 veh/día	5057,25233 veh/día	2384,92557 veh/día

Tabla 35: Promedio IMD en función de franja horaria para vías arteriales.

Al aplicar las fórmulas del método de predicción de ruido a los valores calculados anteriormente, encontramos los siguientes valores:

L_d (dBA)	L_e (dBA)	L_n (dBA)
69,7868003	69,0594639	64,2829547

Tabla 36: Valores de L_d , L_e y L_n para vías arteriales.

Se trataría de los valores globales para todas las vías Arteriales. Podemos ver que los valores son superiores a los de las vías Locales y Colectoras, ya que circula un mayor número de vehículos por las vías de esta configuración. Para afinar más el resultado, procedemos a realizar un análisis más profundo. Con los datos mencionados en el apartado 3.2, se realiza una primera clasificación atendiendo a la forma de la vía. En este caso concreto de tipo de vía Colectora, no existía ninguna con la característica especial de forma tipo $_$, pero en caso de ser encontrada en otra ciudad, se incorporaría dentro del tipo L.

- Tipo U: Dentro de esta configuración, todas las vías tienen parámetros en común; el número de porcentaje de vehículos pesados corresponde siempre al 5% y la velocidad máxima de circulación de este tipo de vías es de 50 Km/h. Este hecho se produce debido a que se han estudiado los núcleos urbanos de las ciudades, las vías que rodean las ciudades cuyas velocidades máximas de circulación son de 70, 80 o 90 Km/h no entran dentro de este estudio. La clasificación se realiza mediante el tipo de suelo acústicamente hablando. A través de la definición de este en el apartado 3.2, se establecen los siguientes tipos de suelo:
 - Tipo 0
 - Tipo 1
 - Tipo 9
- Tipo L: En este apartado, tenemos en cuenta inicialmente el porcentaje de vehículos pesados. Encontramos dos categorías:
 - 3%: Dentro de este apartado, todas las vías disponían de asfalto tipo 1.
 - 5%: Dentro de esta categoría distinguimos dos tipos en función del tipo de asfalto:
 - Tipo 1
 - Tipo 2

Al igual que sucede con los otros tipos de vías, la clasificación a ciertos niveles se convierte en una tarea compleja debido a la falta de datos. Pero como se explicó en el apartado 5.2.1 del presente informe, las variaciones no son significativas por lo que, en caso de encontrar una vía con características diferentes, se tomaría como referencia la casuística que más se adapte a las condiciones de la misma.

A continuación, se muestran las correcciones aplicadas a los cálculos promedio de la tabla 34 para los casos descritos anteriormente:

TIPO U	L_d(dBA)	L_e(dBA)	L_n(dBA)
50 km/h	+1,5687547	+1,1960916	+2,08371196
5% veh pes			
Asf Tipo 0			
50 km/h	+1,2362766	+0,9713053	+0,8247376
5% veh pes			
Asf Tipo 1			
50 km/h	+1,6798663	+1,5738694	+2,5837119
5% veh pes			
Asf Tipo 9			

Tabla 37: Correcciones para vía arterial tipo U.

TIPO L	L_d (dBA)	L_e (dBA)	L_n (dBA)
50 km/h 3% veh pes Asf Tipo 1	+1,1131997	-0,4094639	-0,9329547
50 km/h 5% veh pes Asf Tipo 1	-3,1868003	-2,7594639	-0,9329547
50 km/h 5% veh pes Asf Tipo 2	+1,8631997	+2,1405361	+2,0670453

Tabla 38: Correcciones para vía arterial tipo L.

De esta manera, conseguimos obtener unos resultados aproximados sin la necesidad de introducir el número de IMD que circulan por la vía. Tan solo con conocer características de la vía que se pueden observar a simple vista, obtenemos un resultado que se aproxima al valor real.

Dentro de los parámetros analizados en el apartado 3.2, hay algunos que no han sido tenidos en cuenta para la realización de la clasificación. Esto se debe a que no se pueden obtener de manera directa, sino que es necesario algún tipo de instrumentación para obtener sus valores. Un ejemplo de esto es la altura de los edificios, que no puede ser obtenida de manera visual por lo que no la tenemos en cuenta para realizar la clasificación.

5.3.-Visualización gráfica de los resultados

La clasificación realizada en el apartado 5.2 se ha estructurado en un pequeño programa para poder observar los resultados de manera gráfica, sin tener que realizar operaciones. De esta manera se dinamiza el cálculo de los niveles sonoros en función de las características de las vías.

El programa ha sido realizado en la GUI (Interfaz gráfica de Usuario) de MATLAB y consiste en una pequeña interfaz que permite seleccionar las diferentes casuísticas detalladas en el apartado 4.2 y en función de las opciones seleccionadas, se habilitan o deshabilitan distintos parámetros en los menús desplegables para, finalmente, mostrar los valores de L_d , L_e y L_n además de los colores correspondientes en el mapa de ruido.

Por tanto, podemos realizar un mapa de ruido previo a la instalación de las estaciones de medida analizando las vías con mayor densidad de tráfico y posteriormente comparar el mapa de ruido obtenido mediante este método junto con el realizado a través de los datos de las estaciones de medida y el método francés.

Para la elección de los colores para los mapas de ruido se siguió lo dispuesto en la normativa ISO-1996-2, por la cual se establecen los siguientes colores en función del rango de niveles acústicos emitidos en intervalos de 5 dBA:

- Entre 45 y 50 dBA: Verde claro.
- Entre 50 y 55 dBA: Verde oscuro.
- Entre 55 y 60 dBA: Amarillo.
- Entre 60 y 65 dBA: Ocre.
- Entre 65 y 70 dBA: Naranja.
- Más de 70 dBA: Rojo.

- Para aquellas zonas que no se dispone de datos o inferiores a 45 dBA: Blanco.

El programa también muestra las gráficas de los IMD en función del periodo horario en base a los tres tipos de vías: Local, Colectora y Arterial con el fin de ver los picos de niveles acústicos producidos en las horas punta de la ciudad. Así, los valores máximos de las gráficas corresponderán a los niveles acústicos más elevados. Las horas de entrada y salida del trabajo son las que mayores índices de ruido presentan ya que es cuando más desplazamientos de vehículos se producen en las ciudades.

A continuación, se muestran unas capturas con el funcionamiento del programa y los resultados que muestra el mismo:

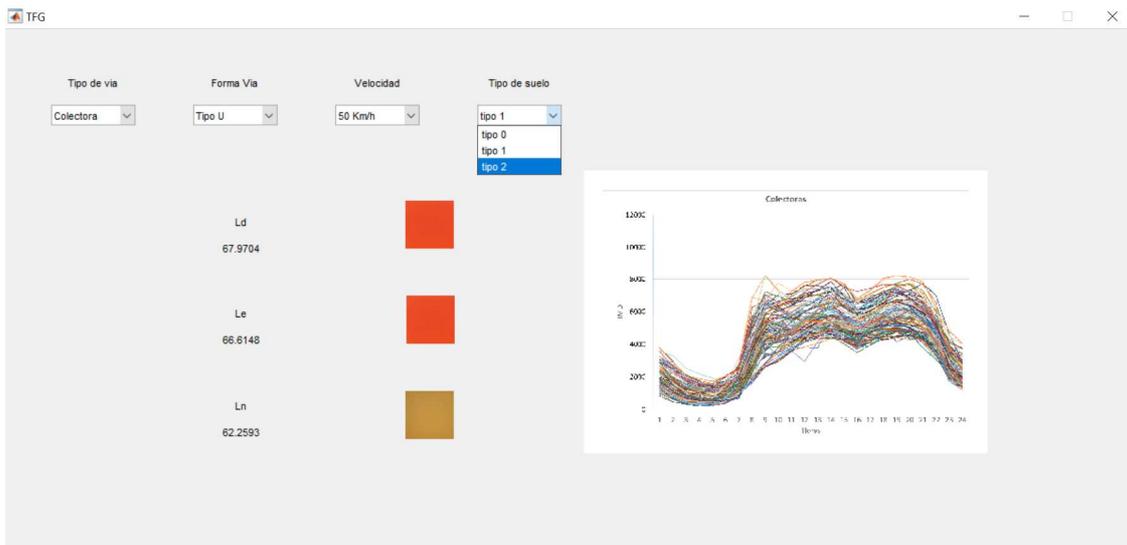


Figura 21: Ejemplo 1 de Interfaz en Matlab en función de parámetros seleccionados.

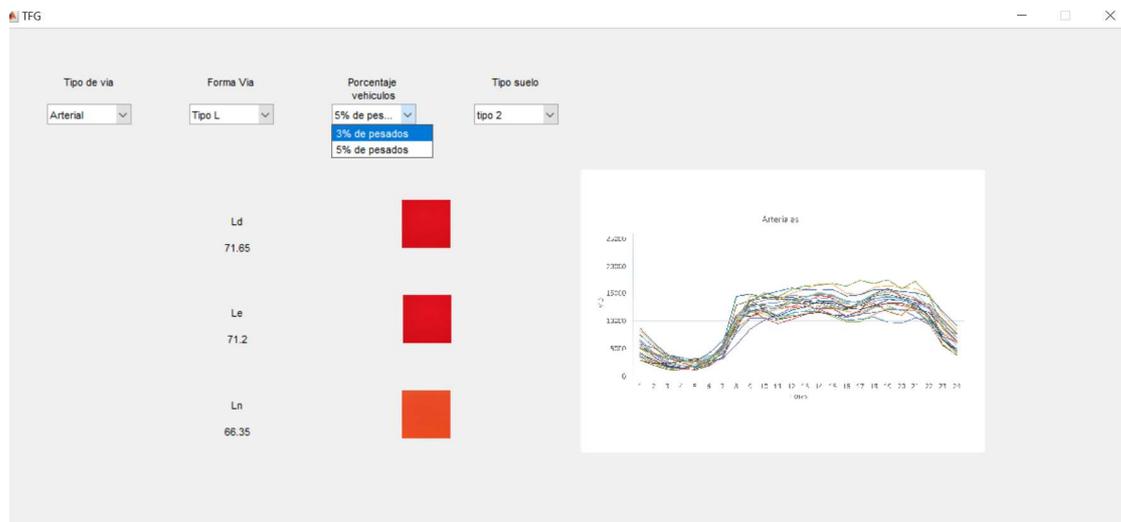


Figura 22: Ejemplo 2 de Interfaz en Matlab en función de parámetros seleccionados.

Podemos observar que en función del tipo de vía seleccionado y de su forma, se activan distintos parámetros para cada casuística, esta clasificación está realizada en función del apartado 5.3 en el que se especifica el motivo de la elección de cada parámetro para cada vía analizada.

5.4.-Resultados

El error cometido va a ser mayor que si introdujéramos los IMD directamente en el método de predicción de ruido, puesto que estamos suponiendo ciertas aproximaciones tomando como referencia el método de predicción. Por lo que acumulamos el error cometido por el modelo con el producido por las nuevas aproximaciones descritas en el apartado 5.2.

En este apartado se analizan los resultados obtenidos al aplicar las aproximaciones a los valores obtenidos por las fórmulas 45, 46 y 47 del apartado 4.3. En el caso de que los porcentajes de acierto no superen el 90%, se procederá a aplicar correcciones para cada clasificación en función de los diagramas de dispersión de los datos. Se establecerán unos umbrales en función de la distribución de los valores y se calculará el promedio de estos dentro del rango dado por el umbral. Posteriormente, se sumará o restará dicho promedio del resultado para afinar el porcentaje de acierto.

Para calcular el porcentaje de acierto se han utilizado dos indicadores definidos en el apartado 4.4: error absoluto y error relativo.

A continuación, se muestran los valores de algunos de los puntos obtenidos aplicando las aproximaciones de los valores. En la tabla se pueden observar los valores reales de L_d , L_e y L_n , los valores aproximados utilizando la clasificación de las vías de L_{d1} , L_{e1} y L_{n1} y los errores absoluto y relativo de cada uno de ellos:

L_d	L_{d1}	Ea	Er	L_e	L_{e1}	Ea	Er	L_n	L_{n1}	Ea	Er
64,90	64,13	0,77	1,18	64,40	64,90	0,50	0,78	63,80	62,21	1,59	2,50
65,30	60,90	4,40	6,74	65,80	58,30	7,50	11,40	61,70	52,81	8,89	14,41
64,70	67,66	2,96	4,57	63,60	66,60	3,00	4,72	64,20	63,02	1,18	1,83
67,60	71,02	3,42	5,06	65,80	70,03	4,23	6,43	62,50	65,11	2,61	4,17
68,80	66,60	2,20	3,20	66,50	66,30	0,20	0,30	62,70	62,65	0,05	0,08
66,30	65,87	0,43	0,65	66,90	64,58	2,32	3,46	65,00	60,47	4,53	6,97
66,50	62,99	3,51	5,28	64,20	61,92	2,28	3,55	65,90	57,66	8,24	12,51
66,30	64,59	1,71	2,58	66,60	63,87	2,73	4,10	62,10	60,35	1,75	2,82
72,60	68,50	4,10	5,65	72,20	67,58	4,63	6,41	65,90	62,38	3,53	5,35
70,40	71,02	0,62	0,89	68,90	70,03	1,13	1,64	63,60	65,11	1,51	2,37
63,00	64,13	1,13	1,80	66,50	64,90	1,60	2,40	64,50	62,21	2,29	3,56
68,80	67,66	1,14	1,66	68,60	66,60	2,00	2,92	66,00	63,02	2,98	4,51
66,10	60,90	5,20	7,87	66,70	58,30	8,40	12,59	60,80	52,81	7,99	13,15
62,80	67,97	5,17	8,23	64,60	66,61	2,01	3,12	55,70	62,26	6,56	11,78
62,50	64,59	2,09	3,34	62,40	63,87	1,47	2,36	62,10	60,35	1,75	2,82
68,50	67,66	0,84	1,23	67,70	66,60	1,10	1,62	62,70	63,02	0,32	0,51
65,20	65,20	0,00	0,00	63,90	63,90	0,00	0,00	60,20	60,21	0,01	0,01
71,60	71,02	0,58	0,81	71,00	70,03	0,97	1,37	64,40	65,11	0,71	1,10
63,70	62,99	0,71	1,11	65,20	61,92	3,28	5,03	61,30	57,66	3,64	5,94
62,30	62,48	0,18	0,28	62,90	61,93	0,98	1,55	56,10	57,43	1,33	2,36
64,00	64,59	0,59	0,92	63,90	63,87	0,03	0,05	61,00	60,35	0,65	1,07
73,30	71,36	1,94	2,65	72,20	70,26	1,94	2,69	69,30	66,37	2,93	4,23
65,10	65,87	0,77	1,18	61,80	64,58	2,78	4,50	53,50	60,47	6,97	13,02
64,90	60,90	4,00	6,16	68,30	58,30	10,00	14,64	63,30	52,81	10,49	16,58

Tabla 39: Valores de las aproximaciones.

Posteriormente se realizó el promedio de todos los valores anteriores. Se calculó la media de todos los E_a y E_r correspondientes a cada uno de los parámetros de medida. Como lo que nos interesaba era el porcentaje de acierto, se calculó restando al valor del 100 por 100 el promedio obtenido de los errores relativos de L_d , L_e y L_n . En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos:

	$E_a(L_d)$	$E_r(L_d) \%$	$E_a(L_e)$	$E_r(L_e) \%$	$E_a(L_n)$	$E_r(L_n) \%$
Valor	2,23	3,34316363	2,82	4,31664268	3,08	5,06485501
Acierto		96,6568364		95,6833573		94,935145

Tabla 40: Errores absoluto y relativo promedios y porcentaje de acierto para método simplificado.

La fila Valor de la tabla 38 hace referencia al valor promedio de los errores absolutos en unidades naturales y al valor promedio en tanto por ciento de los errores relativos de cada periodo de franja horaria.

La fila Acierto hace referencia al porcentaje de acierto de los valores aproximados por los modelos para cada franja horaria. Se calcula restando el total de acierto (100%) a los errores relativos en tanto por ciento de cada aproximación. Obteniendo de esta manera el porcentaje de acierto para cada aproximación.

Como podemos observar en la tabla 38, los resultados globales de porcentaje de acierto para L_d , L_e y L_n son superiores al 90%. Por lo tanto, no se considera necesaria la realización de los diagramas de dispersión.

Podemos comprobar que los resultados son ligeramente inferiores a los obtenidos por el método de predicción de ruido, como se mencionó anteriormente, este resultado es lógico ya que estamos aproximando a partir del modelo por lo que arrastramos el error cometido en la elaboración del método de predicción y añadimos el obtenido por las aproximaciones. Aun así, los porcentajes de acierto son elevados ya que superan el 90 % planteado inicialmente como umbral.

6. Conclusiones y Líneas Futuras

6.1.-Conclusiones

En el presente trabajo se muestra un modelo de predicción de niveles sonoros que sólo depende del parámetro IMD para la obtención de los resultados. Se trata de un modelo sencillo que obtiene los valores L_d , L_e y L_n con un único valor de entrada, el IMD. Los porcentajes de acierto son muy elevados para este caso:

- L_d tiene un porcentaje de acierto de 97,14%
- L_e tiene un porcentaje de acierto de 98,77%
- L_n tiene un porcentaje de acierto de 95,81%

Este modelo logra reducir los costes económicos, ya que en los modelos tradicionales es necesaria la obtención de un gran número de parámetros que tiene un coste asociado como la instalación de equipos de medida, medidas experimentales en las vías como anchura de las calles, inclinación de las vías... Para la realización de este modelo se han aplicado modelos matemáticos basados en curvas estadísticas de los datos obtenidos de estaciones de medida de un núcleo urbano.

Los resultados de este modelo son muy precisos teniendo en cuenta su sencillez. Si bien, es necesaria la obtención del número de vehículos diarios que circulan por las vías, por lo que es necesaria la toma de medidas experimentales. Debido a la dificultad que implica obtener el número de IMD en la realización de un estudio previo del núcleo urbano a analizar, se procede a realizar una simplificación del propio modelo atendiendo a una clasificación de los diferentes tipos de vías.

Atendiendo a esta nueva simplificación, se obtienen distintos porcentajes de acierto debido a las aproximaciones realizadas en función de la clasificación de las vías:

- L_d tiene un porcentaje de acierto de 96,66%
- L_e tiene un porcentaje de acierto de 95,68%
- L_n tiene un porcentaje de acierto de 94,94%

Como podemos comprobar, los porcentajes de acierto son menores que en el caso del modelo de predicción ya que cometemos errores en los cálculos cuando realizamos las medias de las vías con características comunes. Aun así, los porcentajes de acierto son muy elevados y quitamos la dependencia directa con parámetros cuyo valor necesita de la instalación de estaciones de medida o equipos auxiliares.

Este modelo se ha realizado teniendo en cuenta la clasificación específica de distintos tipos de vías urbanas dentro del territorio español, atendiendo a características comunes y específicas que definen cada tipo de vía.

El modelo realizado cumple con los objetivos fijados, la realización de un método de predicción que dependa únicamente de datos que se pueden observar directamente, sin necesidad de realizar cálculos o colocar equipos de medida. De esta manera, podemos tener unos resultados globales consultando únicamente parámetros que pueden obtenerse directamente: velocidad de la vía, tipo de asfalto, forma de la vía... Todos estos parámetros atienden a una clasificación de los tipos de vía explicados en el apartado 5.2.

Con esta simplificación logramos disminuir los costes económicos, ya que no es necesaria la instalación de ningún tipo de equipo 'In situ'. Además, logramos realizar el estudio en un tiempo muy reducido ya que los parámetros de la clasificación pueden observarse directamente mediante herramientas como Google Maps. La instalación de equipos de medida requeriría de un periodo de un año para realizar el estudio y de esta manera conseguimos obtener la información deseada en un periodo muy corto de tiempo.

En resumen, logramos un método que nos permite analizar un núcleo urbano sin necesidad de desplazarse al lugar ni instalar ningún tipo de equipo. Conseguimos de esta manera realizar un estudio previo a la realización de un mapa de ruido, conociendo de antemano los lugares más adecuados para la instalación de equipos de medida y mejorando la precisión del mapa de ruido final.

6.2.-Líneas futuras

Tomando este modelo como referencia, existen varias líneas a seguir. Uno de los principales objetivos buscados es comprobar la eficiencia del método. Para ello es necesario realizar un estudio detallado, para ello se aplicaría el modelo realizado al mapa de ruido obtenido en un núcleo urbano diferente. El modelo analizado en este trabajo logra unos porcentajes de acierto muy elevados, si bien, en parte se debe a que el modelo está realizado a partir de los datos obtenidos por unas estaciones de medida y posteriormente se compara su eficiencia con estos mismos datos. Sería interesante aplicar estos mismos resultados a los datos obtenidos por otras estaciones de medida colocadas en un núcleo urbano distinto y comprobar los porcentajes de acierto en este caso.

Otra línea de futuro consistiría en realizar un nuevo modelo de predicción de niveles sonoros con una mayor base de datos. Cuanto mayor es la misma, mejores aproximaciones lograrán los modelos de regresión matemática y por tanto las fórmulas obtenidas serán más precisas. Al disponer de un mayor número de datos, también se requerirá de una clasificación de las vías más detallada, por lo que la simplificación del nuevo método será algo más compleja ya que contemplará un mayor número de casuísticas pero también se mejorara la precisión global del método y podrán tenerse en cuenta vías que en este modelo es necesario incluir dentro de otras, es el caso de las vías locales, tipo U y de 50 km/h que se incorporan dentro de las de 30 Km/h al no disponer de datos para estas vías concretas.

Por último, otra opción que resulta interesante es la búsqueda de soluciones paliativas a los problemas de ruido encontrados en las vías urbanas, especialmente en aquellas cuyos marcadores acústicos son elevados. Sería interesante relacionar la clasificación de las vías con distintas barreras acústicas que atiendan a las necesidades de las vías, tanto acústicas como urbanas.

7.Referencias

- [1] Y. González Sánchez y Y. Fernández Díaz, "Efectos de la contaminación sónica sobre la salud de estudiantes y docentes, en centros escolares", *Revista cubana de higiene y epidemiología.*, vol. 52, no. 3. Editorial Ciencias Médicas, 2014.
- [2] J.Prado, "Contaminación sonora por ruido vehicular en la avenida", Instituto de Investigación, *Industrial data.* Universidad Nacional Mayor de San Marcos, vol. 10, no. 1, 2007.
- [3] A. Ventoso, D. Rincón, y D. M. Ruiz, "Modelos de previsión de ruido". Universidad Alfonso X el sabio. vol. 14, Editorial Separata, 2016.
- [4] "ArcGIS | Principal". [Online]. Available: <https://www.arcgis.com/index.html>. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [5] "IBM SPSS - IBM Analytics - España." [Online]. Available: <https://www.ibm.com/analytics/es/es/technology/spss/>. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [6] "MATLAB - El lenguaje del cálculo técnico - MATLAB & Simulink". [Online]. Available: https://es.mathworks.com/products/matlab.html?s_tid=hp_ff_p_matlab. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [7] "Excel 2016 - Microsoft Store España". [Online]. Available: https://www.microsoft.com/es-es/store/b/excel-2016?&OCID=AID718530_SEM_tETu3nQQ. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [8] L. R. Rabiner and R. W. Schafer, "Introduction to digital speech processing", vol. 1, no. 1. 2007.
- [9] Oscar Cendales y Andrés Ramírez "Ruidos de color". [Online]. Available: <https://slideplayer.es/slide/1632717/>. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [10] Ángel M^a Arenaz Gombáu, "Manual sobre acústica en edificación y control de ruido". AUDIOTECA S.A, 2006.
- [11] "Ley 37/2003 del Ruido", *Boe* num 276, 2003.
- [12] "Real Decreto 1367/2007, de 19 de octubre, por el que se desarrolla la Ley 37/2003, de 17 de noviembre, de Ruido, en lo referente a zonificación acústica, objetivos de calidad y emisiones acústicas". *Boletín Of. del Estado*, no. 23 de octubre de 2007 .
- [13] Alfonso de Esteban Alonso,"Contaminación acústica y salud". *Instituto Universitario de Ciencias Ambientales.* Universidad Rey Juan Carlos,2003.
- [14] Diario Oficial de las Comunidades Europeas, "Directiva 2002/49/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 25 de junio de 2002 sobre evaluación y gestión del ruido ambiental," *Minist. la Pres. España*, 2002.
- [15] "Sistema de Información sobre Contaminación Acústica - SICA." [Online]. Available: <http://sicaweb.cedex.es/mapas-intro.php>. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [16] R. Hernández-Molina y J. Cueto-Ancela, "Guías de buena práctica; Guía Mapas de Ruido," 2007.
- [17] Luis Delgado del Valle,"Estudio e Implementación del Método Router para la

- Estimación de Emisiones Acústicas debidas al Tráfico Urbano". Escuela Superior de Ingenieros de Telecomunicación, Universidad de Sevilla, 2008.
- [18] H. Campello-Vicente, "Adaptación del modelo de predicción de ruido de tráfico rodado nmpb-routes 2008 a la presencia de vehículos eléctricos," Tesis Doctoral, Universidad Miguel Hernández Elche, 2014.
- [19] "Propuesta de Normativa para la Regulación de la Contaminación Acústica generada por Carreteras y Autopistas.", 2001. [Online]. Available: <http://studylib.es/doc/7605083/propuesta-de-normativa-para-la-regulación-de-la-contamina>. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [20] R. Decreto 1513/2005, "R.D por el que se desarrolla la ley 37/2003 del Ruido en lo referente a la evaluación y gestión del ruido ambiental." *Minist. la Pres. España*, 2005.
- [21] Jose María Sánchez "Cómo cuantificar el tráfico en las carreteras.", 2017. [Online]. Available: <https://verdesostenible.wordpress.com/2017/05/05/como-cuantificar-el-trafico-en-las-carreteras/>. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [22] "Detectores Elevados de Datos de Tránsito (aforos , clasificación y detección de velocidad , sistemas de video-detección)," 2008. [Online]. Available: http://www.tyssatransito.com/Archivos_pdf/T4_DETECTORES_DE_TRANSITOS_2007_PDF/T4_DETECTORES_DE_TRANSITO.pdf. [Accessed: 16-Aug-2018].
- [23] García Ortiz, E.; Cepeda Riaño, J.; Fuentes Robles, M. et al "Mapa Acústico de León2002". Universidad de León. Secretariado de Publicaciones, 2005.
- [24] Uesaka, Katsumi; et al. "Prediction and evaluation methods for road traffic noise in builtup areas". Proc. of 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering. InterNoise 2000. Niza, Francia.

ANEXO

Código Matlab del método de predicción de niveles sonoros

```
function varargout = TFG(varargin)
% TFG MATLAB code for TFG.fig
% TFG, by itself, creates a new TFG or raises the existing
% singleton*.
%
% H = TFG returns the handle to a new TFG or the handle to
% the existing singleton*.
%
% TFG('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
% function named CALLBACK in TFG.M with the given input arguments.
%
% TFG('Property','Value',...) creates a new TFG or raises the
% existing singleton*. Starting from the left, property value pairs are
% applied to the GUI before TFG_OpeningFcn gets called. An
% unrecognized property name or invalid value makes property application
% stop. All inputs are passed to TFG_OpeningFcn via varargin.
%
% *See GUI Options on GUIDE's Tools menu. Choose "GUI allows only one
% instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help TFG

% Last Modified by GUIDE v2.5 27-Mar-2018 16:23:54

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name', mfilename, ...
    'gui_Singleton', gui_Singleton, ...
    'gui_OpeningFcn', @TFG_OpeningFcn, ...
    'gui_OutputFcn', @TFG_OutputFcn, ...
    'gui_LayoutFcn', [], ...
    'gui_Callback', []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before TFG is made visible.
function TFG_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```

% varargin  command line arguments to TFG (see VARARGIN)

% Choose default command line output for TFG
%Ocultamos los menus inicialmente
set(handles.popupmenu2,'Visible','off');
set(handles.popupmenu3,'Visible','off');
set(handles.popupmenu4,'Visible','off');
set(handles.text2,'Visible','off');
set(handles.axes1,'Visible','off');
set(handles.axes2,'Visible','off');
set(handles.axes3,'Visible','off');
set(handles.text4,'Visible','off');
set(handles.text5,'Visible','off');
set(handles.text6,'Visible','off');
set(handles.axes4,'Visible','off');
set(handles.text3,'Visible','on');
aux={'Tipo de via'};
set(handles.text3,'String',aux);
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes TFG wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = TFG_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject   handle to figure
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on selection change in popupmenu1.
function popupmenu1_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject   handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles   structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.popupmenu2,'Visible','off');
set(handles.popupmenu3,'Visible','off');
set(handles.popupmenu4,'Visible','off');
set(handles.text2,'Visible','off');
set(handles.axes1,'Visible','off');
set(handles.axes2,'Visible','off');
set(handles.axes3,'Visible','off');

set(handles.text4,'Visible','off');
set(handles.text5,'Visible','off');
set(handles.text6,'Visible','off');

```

```

%Vuelvo a situarme en los ejes para eliminar el imshow con un cla
axes(handles.axes1);
cla;
axes(handles.axes2);
cla;
axes(handles.axes3);
cla;
axes(handles.axes4);
cla;

if(get(hObject,'value')==1)%Selecciono Locales

%Leemos la imagen, cargamos el mapa para las imagenes grb
am=imread('locales.jpg');
set(handles.axes4,'Visible','on');
%Oculto los ejes x e y ya que no me interesan
set(handles.axes4,'xtick',[],'ytick',[]);
axes(handles.axes4);
imshow(am)

set(handles.text4,'Visible','on');
texto={'Forma Via'};
set(handles.text4,'String',texto);
set(handles.popupmenu2,'Visible','on');
set(handles.popupmenu2,'Value',1);
vec={'Tipo U','Tipo L'};
set(handles.popupmenu2,'String',vec);
%Calculo las operaciones comunes a todas las vias Locales
IMD=1050; %IMD promedio de todas las locales
IMDdia=0.7048*IMD;
IMDtarde=0.2006*IMD;
IMDnoche=0.0946*IMD;
Ld=55.18*(IMDdia^0.024);
Le=55.325*(IMDtarde^0.026);
Ln=58.543+(0.005*IMDnoche)-((1.338*(10^((-6))))*(IMDnoche^2))+((1.051*(10^(-
10))))*IMDnoche^3);
vec2={Ld,Le,Ln};
set(handles.popupmenu3,'UserData',vec2);
elseif (get(hObject,'value')==2)
%Leemos la imagen, cargamos el mapa para las imagenes grb
am=imread('colectoras.jpg');
set(handles.axes4,'Visible','on');
%Oculto los ejes x e y ya que no me interesan
set(handles.axes4,'xtick',[],'ytick',[]);
axes(handles.axes4);
imshow(am)

set(handles.popupmenu2,'Visible','on');
set(handles.popupmenu2,'Value',1);
%Calculo las operaciones comunes a todas las vias Locales
IMD2=10013.7298; %IMD promedio de todas las locales
IMDdia2=0.7048*IMD2;

```

```

IMDtarde2=0.2006*IMD2;
IMDnoche2=0.0946*IMD2;
Ld=55.18*(IMDdia2^0.024);
Le=55.325*(IMDtarde2^0.026);
Ln=58.543+(0.005*IMDnoche2)-((1.338*(10^((-6))))*(IMDnoche2^2))+((1.051*(10^(-
10))))*IMDnoche2^3);
vec3={Ld,Le,Ln};
set(handles.popupmenu3,'UserData',vec3);
set(handles.text4,'Visible','on');
texto={'Forma Via'};
set(handles.text4,'String',texto);
set(handles.popupmenu2,'Visible','on');
vec4={'Tipo U','Tipo L'};
set(handles.popupmenu2,'String',vec4);
else
%Leemos la imagen, cargamos el mapa para las imagenes grb
am=imread('arteriales.jpg');
set(handles.axes4,'Visible','on');
%Oculto los ejes x e y ya que no me interesan
set(handles.axes4,'xtick',[],'ytick',[]);
axes(handles.axes4);
imshow(am)
set(handles.popupmenu2,'Visible','on');
set(handles.popupmenu2,'Value',1);

IMD3=25210.6297;
IMDdia3=0.7048*IMD3;
IMDtarde3=0.2006*IMD3;
IMDnoche3=0.0946*IMD3;
Ld=55.18*(IMDdia3^0.024);
Le=55.325*(IMDtarde3^0.026);
Ln=58.543+(0.005*IMDnoche3)-((1.338*(10^((-6))))*(IMDnoche3^2))+((1.051*(10^(-
10))))*IMDnoche3^3);
vec5={Ld,Le,Ln};
set(handles.popupmenu3,'UserData',vec5);
set(handles.text4,'Visible','on');
texto={'Forma Via'};
set(handles.text4,'String',texto);
set(handles.popupmenu2,'Visible','on');
vec6={'Tipo U','Tipo L'};
set(handles.popupmenu2,'String',vec6);

end

```

```

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu1 contents as cell array
%     contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu1

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu1 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu2.
function popupmenu2_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%Oculto los parametros
set(handles.popupmenu3,'Visible','off');
set(handles.popupmenu4,'Visible','off');
set(handles.text2,'Visible','off');
set(handles.axes1,'Visible','off');
set(handles.axes2,'Visible','off');
set(handles.axes3,'Visible','off');
set(handles.text5,'Visible','off');
set(handles.text6,'Visible','off');
%Vuelvo a situarme en los ejes para eliminar el imshow con un cla
axes(handles.axes1);
cla;
axes(handles.axes2);
cla;
axes(handles.axes3);
cla;

if(get(handles.popupmenu1,'Value')==1)
    if(get(hObject,'value')==1)
        set(handles.text5,'Visible','on');
        texto={'Velocidad'};
        set(handles.text5,'String',texto);
        set(handles.popupmenu3,'Visible','on');
        vec={'20 km/h','30 km/h'};
        set(handles.popupmenu3,'String',vec);
    else
        set(handles.text5,'Visible','on');
        texto={'Velocidad'};
        set(handles.text5,'String',texto);
        set(handles.popupmenu3,'Visible','on');
        vec={'20 km/h','30 km/h','50 Km/h'};
        set(handles.popupmenu3,'String',vec);
    end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
set(handles.popupmenu3,'Value',1);
elseif(get(handles.popupmenu1,'Value')==2)
    if(get(hObject,'value')==1)
        set(handles.text5,'Visible','on');

```

```

texto={'Velocidad'};
set(handles.text5,'String',texto);
set(handles.popupmenu3,'Visible','on');
vec={'20 km/h','30 km/h','50 Km/h'};
set(handles.popupmenu3,'String',vec);
else
    set(handles.text2,'Visible','on');
    aux=get(handles.popupmenu3,'UserData');%Cojo los datos
    aux=cell2mat(aux);%Convierto los datos de tipo celda a tipo numerico para operar con los datos
    aux(1)=aux(1)-2.3907077;
    aux(2)=aux(2)-2.83802827;
    aux(3)=aux(3)-1.70148333;
    %Convierto a entero
    Ld=uint16(aux(1));
    Le=uint16(aux(2));
    Ln=uint16(aux(3));

    %Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
    set(handles.text2,'String',aux);
    %LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
    color(Ld,Le,Ln,handles);
end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
set(handles.popupmenu3,'Value',1);
else
    if(get(hObject,'Value')==1)
        set(handles.popupmenu3,'Visible','on');
        set(handles.text5,'Visible','on');
        texto={'Tipo de Suelo'};
        set(handles.text5,'String',texto);
        vec={'tipo 0','tipo 1','tipo 2'};
        set(handles.popupmenu3,'String',vec);
        set(handles.popupmenu3,'Value',1);
    else
        set(handles.popupmenu3,'Visible','on');
        set(handles.text5,'Visible','on');
        texto={'Porcentaje vehiculos'};
        set(handles.text5,'String',texto);
        vec={'3% de pesados','5% de pesados'};
        set(handles.popupmenu3,'String',vec);
        set(handles.popupmenu3,'Value',1);
    end
end

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu2 contents as cell array
%     contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu2

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu2 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu3.
function popupmenu3_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
set(handles.popupmenu4,'Visible','off');
set(handles.text2,'Visible','off');
set(handles.axes1,'Visible','off');
set(handles.axes2,'Visible','off');
set(handles.axes3,'Visible','off');
set(handles.text6,'Visible','off');
%Vuelvo a situarme en los ejes para eliminar el imshow con un cla
axes(handles.axes1);
cla;
axes(handles.axes2);
cla;
axes(handles.axes3);
cla;

aux=get(handles.popupmenu3,'UserData');%Cojo los datos
aux=cell2mat(aux); %Convierto los datos de tipo celda a tipo numerico para operar con los datos

if (get(handles.popupmenu1,'Value')==1)
    if(get(handles.popupmenu2,'Value')==1)
        set(handles.popupmenu4,'Visible','on');
        if(get(hObject,'value')==1)
            set(handles.text6,'Visible','on');
            texto={'Porcentaje vehiculos'};
            set(handles.text6,'String',texto);
            vec={'1% de vehiculos pesados', '3% de vehiculos pesados', '5% de vehiculos pesados'};
            set(handles.popupmenu4,'String',vec);
        else
            set(handles.text6,'Visible','on');
            texto={'Porcentaje vehiculos'};
            set(handles.text6,'String',texto);
            vec={'1% de vehiculos pesados', '3% de vehiculos pesados', '5% de vehiculos pesados'};
            set(handles.popupmenu4,'String',vec);
        end
    end

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

```

```

set(handles.popupmenu4,'Value',1);
elseif(get(handles.popupmenu2,'Value')==2)

if(get(hObject,'value')==1)
    set(handles.text2,'Visible','on');
    %Operacion de datos
    %Opero con los datos
    %Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
    aux(1)=aux(1)-3.761209;
    aux(2)=aux(2)-5.281819;
    aux(3)=aux(3)-6.2205517;
    %CONvierto a entero
    Ld=uint16(aux(1));
    Le=uint16(aux(2));
    Ln=uint16(aux(3));

    %Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
    set(handles.text2,'String',aux,'max',3);
    %LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
    color(Ld,Le,Ln,handles);
elseif(get(hObject,'value')==2)
    set(handles.text6,'Visible','on');
    texto={'Porcentaje vehiculos'};
    set(handles.text6,'String',texto);
    set(handles.popupmenu4,'Visible','on');

    vec={'3% de vehiculos pesados', '5% de vehiculos pesados'};
    set(handles.popupmenu4,'String',vec);

else
    set(handles.text2,'Visible','on');
    %Opero con los datos
    %Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
    aux(1)=aux(1)+4.138791;
    aux(2)=aux(2)+0.218181;
    aux(3)=aux(3)+1.0794483;
    %CONvierto a entero
    Ld=uint16(aux(1));
    Le=uint16(aux(2));
    Ln=uint16(aux(3));

    %Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
    set(handles.text2,'String',aux);
    %LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
    color(Ld,Le,Ln,handles);

end

```

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

```
set(handles.popupmenu4,'Value',1);
```

```
end
```

```
elseif (get(handles.popupmenu1,'Value')==2)
```

```
if(get(handles.popupmenu2,'Value')==1)
```

```
if(get(hObject,'Value')==1)
```

```
set(handles.text2,'Visible','on');
```

```
%Opero con los datos
```

```
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
```

```
aux(1)=aux(1)+0.2426256;
```

```
aux(2)=aux(2)+0.1536384;
```

```
aux(3)=aux(3)+0.20685;
```

```
%CONvierto a entero
```

```
Ld=uint16(aux(1));
```

```
Le=uint16(aux(2));
```

```
Ln=uint16(aux(3));
```

```
%Introduzco el resultado en la caja de texto
```

```
aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
```

```
set(handles.text2,'String',aux);
```

```
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
```

```
color(Ld,Le,Ln,handles);
```

```
elseif(get(hObject,'Value')==2)
```

```
set(handles.text2,'Visible','on');
```

```
%Opero con los datos
```

```
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
```

```
aux(1)=aux(1)-0.6018189;
```

```
aux(2)=aux(2)-0.8213616;
```

```
aux(3)=aux(3)+0.85407222;
```

```
%CONvierto a entero
```

```
Ld=uint16(aux(1));
```

```
Le=uint16(aux(2));
```

```
Ln=uint16(aux(3));
```

```
%Introduzco el resultado en la caja de texto
```

```
aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
```

```
set(handles.text2,'String',aux);
```

```
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
```

```
color(Ld,Le,Ln,handles);
```

```
else
```

```
set(handles.text6,'Visible','on');
```

```
texto={'Tipo de suelo'};
```

```

set(handles.text6,'String',texto);
set(handles.popupmenu4,'Visible','on');
vec={'tipo 0', 'tipo 1', 'tipo 2'};
set(handles.popupmenu4,'String',vec);
set(handles.popupmenu4,'Value',1);

```

```

end
end

```

```

else

```

```

if(get(handles.popupmenu2,'Value')==1)
if(get(hObject,'Value')==1)
set(handles.text2,'Visible','on');
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)+1.5687547;
aux(2)=aux(2)+1.1960916;
aux(3)=aux(3)+2.08371196;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

```

```

%Introduzco el resultado en la caja de texto

```

```

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux);
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);

```

```

elseif(get(hObject,'Value')==2)
set(handles.text2,'Visible','on');
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)+1.2362766;
aux(2)=aux(2)+0.9713053;
aux(3)=aux(3)+0.8247376;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

```

```

%Introduzco el resultado en la caja de texto

```

```

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux);
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);

```

```

else
set(handles.text2,'Visible','on');
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)+1.6798663;

```

```

    aux(2)=aux(2)+1.5738694;
    aux(3)=aux(3)+2.5837119;
    %COnvierto a entero
    Ld=uint16(aux(1));
    Le=uint16(aux(2));
    Ln=uint16(aux(3));

    %Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
    set(handles.text2,'String',aux);
    %LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
    color(Ld,Le,Ln,handles);
end
else
if((get(hObject,'Value')==1)
set(handles.text2,'Visible','on');
    %Opero con los datos
    %Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
    aux(1)=aux(1)+1.1131997;
    aux(2)=aux(2)-0.4094639;
    aux(3)=aux(3)-0.9329547;
    %COnvierto a entero
    Ld=uint16(aux(1));
    Le=uint16(aux(2));
    Ln=uint16(aux(3));

    %Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
    set(handles.text2,'String',aux);
    %LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
    color(Ld,Le,Ln,handles);
else
set(handles.text6,'Visible','on');
texto={'Tipo suelo'};
set(handles.text6,'String',texto);
set(handles.popupmenu4,'Visible','on');
vec={'tipo 1', 'tipo 2'};
set(handles.popupmenu4,'String',vec);
set(handles.popupmenu4,'Value',1);

end
end
end

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu3 contents as cell array
%     contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu3

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu3 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB

```

```

% handles empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
% See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on selection change in popupmenu4.
function popupmenu4_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject handle to popupmenu4 (see GCBO)
% eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
%Compruebo que he seleccionado el caso de tipo L, 30 km/h y 3 y 5 por
%ciento
aux=get(handles.popupmenu3,'UserData');%Cojo los datos
aux=cell2mat(aux); %Convierto los datos de tipo celda a tipo numerico para operar con los datos
set(handles.axes1,'Visible','off');
set(handles.axes2,'Visible','off');
set(handles.axes3,'Visible','off');

if(get(handles.popupmenu1,'Value')==1)
if(get(handles.popupmenu2,'Value')==1)
    if(get(handles.popupmenu3,'Value')==1)
        set(handles.text2,'Visible','on');
        if(get(hObject,'value')==1)
            %Opero con los datos
            %Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
            aux(1)=aux(1)-0.071209;
            aux(2)=aux(2)+0.288181;
            aux(3)=aux(3)+1.3194483;
            %CONvierto a entero
            Ld=uint16(aux(1));
            Le=uint16(aux(2));
            Ln=uint16(aux(3));

            %Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
            set(handles.text2,'String',aux);
            %LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
            color(Ld,Le,Ln,handles);
            set(handles.text2,'String',aux);
        elseif(get(hObject,'value')==2)
            %Opero con los datos
            %Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
            aux(1)=aux(1)-0.5278757;
            aux(2)=aux(2)+1.3194483;
            aux(3)=aux(3)+3.1794483;
            %CONvierto a entero
            Ld=uint16(aux(1));
            Le=uint16(aux(2));
            Ln=uint16(aux(3));

```

```

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux);
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
else
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-2.661209;
aux(2)=aux(2)+1.918181;
aux(3)=aux(3)+3.1794483;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux);
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
end
else
set(handles.text2,'Visible','on');
if(get(hObject,'value')==1)
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)+0.538791;
aux(2)=aux(2)+0.318181;
aux(3)=aux(3)+1.1794483;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux)
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
elseif(get(hObject,'value')==2)
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-1.671209;
aux(2)=aux(2)-1.661819;
aux(3)=aux(3)-1.3705517;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

```

```

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux)
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
else
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-1.136209;
aux(2)=aux(2)-2.056819;
aux(3)=aux(3)-1.9265517;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

```

```

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux);
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
end
end

```

```

elseif(get(handles.popupmenu2,'Value')==2)
set(handles.text2,'Visible','on');
if(get(handles.popupmenu3,'Value')==2)
if(get(hObject,'value')==1)

%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-2.186209;
aux(2)=aux(2)-1.656819;
aux(3)=aux(3)-1.6015517;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

```

```

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux);
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
else
%Opero con los datos
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-3.161209;
aux(2)=aux(2)-4.681819;

```

```

aux(3)=aux(3)-4.9205517;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux)
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
end
end
end
elseif(get(handles.popupmenu1,'Value')==2)
if(get(handles.popupmenu2,'Value')==1)
if(get(hObject,'Value')==1)
set(handles.text2,'Visible','on');
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)+4.4926256;
aux(2)=aux(2)+3.9286384;
aux(3)=aux(3)+4.73185;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux)
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
elseif(get(hObject,'Value')==2)
set(handles.text2,'Visible','on');
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-0.287004;
aux(2)=aux(2)-0.8065468;
aux(3)=aux(3)+0.0911093;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux)
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);

else

```

```

set(handles.text2,'Visible','on');
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-0.9173744;
aux(2)=aux(2)-1.2413616;
aux(3)=aux(3)+0.72815;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux);
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
end
end

else
if(get(handles.popupmenu2,'Value')==2)
if(get(handles.popupmenu3,'Value')==2)
if(get(hObject,'Value')==1)
set(handles.text2,'Visible','on');
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)-3.1868003;
aux(2)=aux(2)-2.7594639;
aux(3)=aux(3)-1.6329547;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};
set(handles.text2,'String',aux)
%LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
color(Ld,Le,Ln,handles);
else
set(handles.text2,'Visible','on');
%Realizo las operaciones correspondientes a este tipo de via
aux(1)=aux(1)+1.8631997;
aux(2)=aux(2)+2.1405361;
aux(3)=aux(3)+2.0670453;
%CONvierto a entero
Ld=uint16(aux(1));
Le=uint16(aux(2));
Ln=uint16(aux(3));

%Introduzco el resultado en la caja de texto

aux={'Ld',char(13),num2str(aux(1)),char(13),char(13),char(13),char(13),'Le',char(13),num2str(aux(2)),cha
r(13),char(13),char(13),char(13),'Ln',char(13),num2str(aux(3))};

```

```

        set(handles.text2,'String',aux);
        %LLamo a la funcion color para que muestre el color en función del rango
        color(Ld,Le,Ln,handles);

    end
end
end
end

```

```

% Hints: contents = cellstr(get(hObject,'String')) returns popupmenu4 contents as cell array
%     contents{get(hObject,'Value')} returns selected item from popupmenu4

```

```

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function popupmenu4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to popupmenu4 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

```

```

% Hint: popupmenu controls usually have a white background on Windows.
%     See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'), get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

```

```

function color(Ld,Le,Ln,handles)
%%MUESTRO EL COLOR EN FUNCION DEL VALOR DE LOS PARAMETROS
    set(handles.axes1,'Visible','off');
    set(handles.axes2,'Visible','off');
    set(handles.axes3,'Visible','off');
    if(Ld>=75)
        b='rosa.jpg';
    elseif(Ld<75 && Ld>=70)
        b='rojo.jpg';
    elseif(Ld<70 && Ld>=65)
        b='naranjaOscuro.jpg';
    elseif(Ld<65 && Ld>=60)
        b='ocre.jpg';
    elseif(Ld<60 && Ld>=55)
        b='amarillo.jpg';
    elseif(Ld<55 && Ld>=50)
        b='verdeClaro.jpg';
    elseif(Ld<50)
        b='blanco.jpg';
    end
    %Leemos la imagen, cargamos el mapa para las imagenes grb
    a=imread(b);
    %Oculto los ejes x e y ya que no me interesan

```

```

set(handles.axes1,'xtick',[],'ytick',[]);
axes(handles.axes1);
imshow(a)

if(Le>=75)
b2='rosa.jpg';
elseif(Le<75 && Le>=70)
b2='rojo.jpg';
elseif(Le<70 && Le>=65)
b2='naranjaOscuro.jpg';
elseif(Le<65 && Le>=60)
b2='ocre.jpg';
elseif(Le<60 && Le>=55)
b2='amarillo.jpg';
elseif(Le<55 && Le>=50)
b2='verdeClaro.jpg';
elseif(Le<50)
b2='blanco.jpg';
end
%Leemos la imagen, cargamos el mapa para las imagenes grb
a2=imread(b2);
set(handles.axes2,'Visible','on');
%Oculto los ejes x e y ya que no me interesan
set(handles.axes2,'xtick',[],'ytick',[]);
axes(handles.axes2);

imshow(a2)

if(Ln>=70)
b3='rojo.jpg';
elseif(Ln<70 && Ln>=65)
b3='naranjaOscuro.jpg';
elseif(Ln<65 && Ln>=60)
b3='ocre.jpg';
elseif(Ln<60 && Ln>=55)
b3='amarillo.jpg';
elseif(Ln<55 && Ln>=50)
b3='verdeOscuro.jpg';
elseif(Ln<50 && Ln>=45)
b3='verdeClaro.jpg';
else
b3='blanco.jpg';
end
%Leemos la imagen, cargamos el mapa para las imagenes grb
a3=imread(b3);
set(handles.axes3,'Visible','on');
%Oculto los ejes x e y ya que no me interesan
set(handles.axes3,'xtick',[],'ytick',[]);
axes(handles.axes3);
imshow(a3)

```