

PLAN DE ACTUACIÓN ACÚSTICA A FAVOR DE LA SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE CUENCA



**-INFORME SOBRE EL ANÁLISIS DE LA INFLUENCIA DE LA
VELOCIDAD DEL TRÁFICO RODADO EN EL MAPA DE RUIDO-**

1. Introducción y objetivos

El proceso de elaboración de un mapa de ruido exige un gran número de datos de los que no siempre se dispone. Las aproximaciones y simplificaciones empleadas introducen un cierto grado de incertidumbre en el resultado. Mediante el análisis de la velocidad del tráfico rodado se pretende reducir la incertidumbre del mapa de ruido realizado en la ciudad de Cuenca, trabajando sobre la principal fuente de ruido de la misma.

En la zona seleccionada no existen industrias significativas y es despreciable el tráfico ferroviario, por lo que se reduce el estudio al tráfico de vehículos ligeros, que son los más habituales en la ciudad de Cuenca.

Para la metodología empleada se toma como referencia el trabajo presentado en la Tesis Doctoral dirigida por el Dr. D. Manuel Recuero López, Catedrático de Universidad de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad Politécnica de Madrid, y realizada por el Dr. D. Miguel Ausejo Prieto. En ella se validan los datos de velocidad de tráfico de la ciudad de Palma de Mallorca mediante la técnica de vehículo flotante descrita más adelante y que emplea tecnología GPS para precisar la velocidad del tráfico, y se cotejan dichos resultados con los obtenidos teóricamente en la simulación.

Como conclusión se proponen actuaciones concretas sobre determinados puntos de la red viaria en los que el exceso de ruido obtenido en la elaboración del mapa puede reducirse limitando la velocidad de los vehículos.

2. Nociones sobre la tecnología GPS

A continuación se hace una breve explicación de la tecnología GPS y de su precisión.

El Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global (más conocido por las siglas GPS; su nombre más correcto es NAVSTAR GPS) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), el cual permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferenciales, aunque lo habitual son unos pocos metros. El sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos de América.

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. En base a estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite.

Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. La triangulación en el caso del GPS, a diferencia del caso 2-D que consiste en averiguar el ángulo respecto de puntos conocidos, se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición. También se consigue una exactitud extrema en el reloj del GPS, similar a la de los relojes atómicos que desde tierra sincronizan a los satélites.

La precisión intrínseca del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados. Sin aplicar ningún tipo de corrección y con ocho satélites a la vista, la precisión es de 6 a 15 metros; pero puede obtenerse más precisión usando sistemas de corrección.

DGPS (Differential GPS) o GPS diferencial es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones a los datos recibidos de los satélites GPS. Estas correcciones, una vez aplicadas, proporcionan una mayor precisión en la posición calculada, que puede ser de unos dos metros en latitud y longitud, y unos 3 m en altitud.

Un waypoint almacena una posición guardando en una tupla las coordenadas de latitud y longitud, además (aunque con poca precisión), altura respecto a un geoide de referencia. De igual forma es posible sincronizar nuestros mapas que funcionen en conjunto con nuestros receptores GPS's para ubicar Waypoints en particular a lo largo de nuestra ruta y registrarlo como Waypoint nuevo de nuestra nueva constelación de puntos en el camino.

3. Metodología

La descripción técnica de las tareas a realizar es la siguiente:

- Categorización de las tipologías viarias del municipio de Cuenca.
- Medida de las velocidades efectivas medias en las diferentes tipologías viarias mediante sistemas de navegación GPS, utilizando la técnica de "vehículo flotante".
- Procesado y tratamiento de las medidas de velocidad, mediante algoritmos de validación/rechazo.
- Tratamiento en Sistemas de Información Geográfica (SIG) de las medidas de velocidad, para su posterior inclusión en cualquier modelo acústico.
- Medida de control de corta duración de los niveles de ruido en diversos tramos viarios.
- Comparación de los valores de velocidad reales medidos y los valores utilizados en la creación del mapa de ruido de Cuenca, al igual que los niveles de ruido derivados de ellos.
- Propuesta de variaciones de límites de velocidad en los tramos viarios sensibles de dicha modificación y su repercusión en el nivel de ruido generado.

El método que se ha aplicado para obtener dichos datos de una forma fácil, económica y muy precisa [ASENSIO 2009] se basa en la utilización de técnicas GPS en un vehículo flotante por razones de coste económico, tiempo y calidad de los datos [IMAGINE 2006, 2]. Esta técnica consiste en emplear un dispositivo GPS instalado en un vehículo que circula por los ejes viarios cuya velocidad se quiere determinar. El GPS guardará las coordenadas exactas y el tiempo exacto de dichas coordenadas. El principio de circulación del vehículo flotante es que para el tramo bajo estudio debe procurarse que el número de vehículos que adelante sea igual al que rebasen al propio vehículo flotante [TURNER 1998]. Conociendo las coordenadas, el tiempo exacto y la longitud de los tramos, se pueden establecer datos de velocidad efectiva en marcha y aceleración de vehículos para los tramos bajo estudio.

La precisión de esta técnica depende de varios factores [IMAGINE 2006, 2]:

- El número visible de satélites en la zona bajo estudio.
- Los errores generados durante la transmisión del satélite.
- El tipo y precisión del dispositivo GPS utilizado.
- La precisión de la transformación de coordenadas.

El dispositivo utilizado dispuso de una cobertura mínima en todos los puntos de 3 satélites y una resolución mínima de 5 metros. El registro de datos de la unidad GPS se puede realizar en tiempo (cada x segundos) o en distancia (cada x metros). Se eligió un almacenamiento de puntos según la distancia recorrida por varias razones:

- Cada punto deberá tener la misma importancia, ya que corresponden a tramos de la misma longitud.
- Cada tramo de eje viario cuya longitud sea superior a la distancia entre puntos deberá asociarse con, al menos, un punto.
- Ajustando la distancia entre puntos adecuadamente, cada tramo vial se puede asociar con varios puntos.

Se realizaron medidas durante 3 días durante los tres períodos horarios (día, tarde y noche) a lo largo de varias vías de todas las categorías acústicas definidas con anterioridad. Para realizar la conducción, se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Diferentes conductores deben realizar las mismas rutas.

- Las rutas deben realizarse varias veces por cada tramo horario y por cada conductor.
- Deben evitarse condiciones de tráfico en hora punta.

Equipo utilizado

- GPS Garmin
- GPS profesional LEICA
- Navegador TomTom
- Vehículo

Fases de trabajo

La metodología utilizada para obtener las velocidades medias de tráfico de las diferentes vías bajo estudio ha sido el método francés o técnica de vehículo flotante. Consiste básicamente en las siguientes tres fases:

1ª Fase. Selección de los tramos urbanos que cumplen los requisitos de la técnica utilizada.

Se ha trabajado sobre un total de 28 tramos de la red viaria de la ciudad de Cuenca y se ha verificado experimentalmente la velocidad media del tráfico ligero en cada una de ellos, en los tramos horarios de mañana, tarde y noche.

La selección de los viales según el método debe hacerse sobre aquellos en los que el flujo de vehículos adquiere una velocidad media operativa después de salir de un cruce o semáforo, debiendo rechazarse aquellos de escasa longitud entre los puntos de parada o reducción de velocidad. Esta circunstancia nos ha obligado a descartar un elevado número de vías del centro de la ciudad, y es por lo que se ha reducido a 28 el número de tramos.

2ª Fase de obtención de datos

Para evitar posibles errores en la captura de los datos se han empleado tres tipos distintos de GPS y se han cotejado los datos, teniendo en cuenta que un error en esta operación obligaría a repetir horas de trabajo de medición, supondría un grave retraso en la coordinación con los demás investigadores y con las reservas del simulador.

Se ha dado preferencia como GPS principal al navegador de la marca Garmin por ser éste el más versátil y sencillo para el procesado de los datos. También se ha trabajado con un GPS profesional de precisión de la marca LEICA. Y finalmente se ha añadido un GPS sencillo pero interesante por su fácil incorporación en el vehículo, el habitual navegador TomTom.

Obtención de datos mediante dispositivo GPS

Para llevar a cabo las medidas ha sido preciso contar con dos personas: un conductor del vehículo y un técnico encargado de manejar los dispositivos.

Durante el recorrido de cada uno de los tramos viarios seleccionados, el GPS principal ha almacenado los datos de posición y tiempo, extrayéndose a partir de éstos la velocidad media e instantánea, aun no siendo necesaria esta última.

En ocasiones ha sido necesario repetir varias veces los tramos, especialmente cuanto el conductor del vehículo se ha visto forzado a alterar bruscamente la velocidad por cualquier circunstancia del tráfico.

Este proceso de medida se ha repetido en tres franjas horarias de acuerdo con la norma:

DÍA: 7:00-19:00

TARDE: 19:00-23:00

NOCHE: 23:00-7:00

3ª Fase de análisis de los datos obtenidos

En la siguiente fase se analizan los datos anteriormente obtenidos:

- Los datos obtenidos mediante el GPS se exportaron utilizando el programa "Google Maps" para obtener todas las velocidades de cada trama y posteriormente en una hoja de Excel, se realizó una media aritmética de todas las velocidades exportadas de cada tramo para obtener la velocidad final.
- Con las velocidades anotadas manualmente en el vehículo durante los diferentes recorridos, se obtuvieron la velocidad media de todas ellas.
- En una fase final se han comprobado los niveles sonoros debidos a la velocidad del tráfico medida, extrayéndose las conclusiones.

4. Resultados

Los datos capturados mediante la técnica descrita han sido filtrados y contrastados con los límites de velocidad establecidos. Se han descartado los valores que no cumplían los requisitos exigidos, y aquellos que se desviaban significativamente de la media.

En la figura 1 se representan gráficamente sobre el mapa de Cuenca los tramos que han sido seleccionados para la captura de datos al cumplir los requisitos propuestos por el método francés, identificados por el número (ID). En ellos es donde se han efectuado medición de velocidad media real del tráfico ligero, comparándose con la limitación de velocidad de la vía.



Figura 1: Tramos viarios seleccionados.

ID	Vgps_dia	Vseñal_dia	Coches_dia	Vgps_tarde	Vseñal_tarde	Coches_tarde
0	48,1	40,0	205,0	50,3	40,0	204
1	41,0	30,0	172,0	45,6	30,0	195
2	40,3	30,0	172,0	43,2	30,0	195
3	43,3	30,0	55,0	52,0	30,0	63
4	51,5	50,0	205,0	51,7	50,0	204
5	82,2	90,0	773,0	63,3	90,0	800
6	48,4	30,0	1100,0	48,4	30,0	1100
7	48,4	30,0	1100,0	48,4	30,0	1100
8	46,9	30,0	1100,0	44,3	30,0	1100
9	36,7	30,0	147,7	32,0	30,0	197
10	46,3	30,0	1100,0	50,5	30,0	1100
11	65,0	80,0	700,0	64,0	80,0	796
12	98,2	120,0	871,0	98,6	120,0	1044
13	71,2	70,0	773,0	66,8	70,0	800
14	44,7	30,0	897,0	30,9	30,0	1050
15	41,2	50,0	343,0	44,8	50,0	758
16	39,9	30,0	468,0	46,0	30,0	431
17	39,7	50,0	325,0	58,0	50,0	554
18	39,1	30,0	357,0	42,0	30,0	431
19	43,8	50,0	564,0	42,9	50,0	717
20	49,2	30,0	205,0	44,0	30,0	204
21	37,9	30,0	205,0	46,6	30,0	204
22	34,4	30,0	474,0	47,8	30,0	474
23	42,0	30,0	178,0	42,3	30,0	203
24	48,4	30,0	1100,0	56,8	30,0	1100
25	50,4	50,0	1100,0	57,4	50,0	1100
26	32,7	30,0	172,0	27,3	30,0	195
27	48,7	50,0	561,0	48,4	50,0	649

Tabla 1: Datos tomados.

A continuación se presentan los niveles equivalentes en dBA (Leq) en los tramos horarios de mañana y tarde, para lo que hay que tener en cuenta la siguiente leyenda de columnas:

- A: Número de identificación del vial (ID), según el mapa anterior.
- B: Velocidad media medida según la técnica de vehículo flotante (tramo de mañana)
- C: nivel de ruido equivalente en dBA, correspondiente al tramo horario de mañana para vehículos ligeros, de acuerdo con la velocidad tomada mediante GPS
- D: nivel de ruido equivalente en dBA, correspondiente al tramo horario de mañana para vehículos ligeros, de acuerdo con la limitación de velocidad de la vía.
- E: Velocidad media medida según la técnica de vehículo flotante (tramo de tarde)
- F: nivel de ruido equivalente en dBA, correspondiente al tramo horario de tarde para vehículos ligeros, de acuerdo con la velocidad tomada mediante GPS
- G: nivel de ruido equivalente en dBA, correspondiente al tramo horario de tarde para vehículos ligeros, de acuerdo con la limitación de velocidad de la vía.

	MAÑANA			TARDE		
A	B	C	D	E	F	G
FID	km/h	LD GPS	LD SEÑALIZACIÓN	km/h	LE GPS	LE SEÑALIZACIÓN
0	48,1	76,6	78,3	50,3	77,4	79,2
1	41,0	75,5	75,4	45,6	75,1	75,5
2	40,3	77,8	78,6	43,2	75,8	78,8
3	43,3	66,4	66,3	52,0	66,4	66,5
4	51,5	57,9	55,4	51,7	59,8	55,8
5	82,2	74,8	70,9	63,3	72,7	69,3
6	48,4	73,4	69,7	48,4	72,5	68,0
7	48,4	70,2	70,1	48,4	72,0	70,8
8	46,9	71,3	71,3	44,3	73,1	71,9
9	36,7	73,2	73,1	32,0	74,9	73,8
10	46,3	76,0	77,8	50,5	76,4	78,3
11	65,0	73,6	69,5	64,0	73,5	68,1
12	98,2	70,1	65,9	98,6	70,0	64,4
13	71,2	74,6	70,7	66,8	74,7	69,5
14	44,7	68,5	68,7	30,9	69,2	69,4
15	41,2	66,0	67,8	44,8	70,4	69,1
16	39,9	76,5	74,0	46,0	66,1	62,5
17	39,7	71,4	72,6	58,0	72,4	73,6
18	39,1	67,6	65,3	42,0	67,8	64,9
19	43,8	64,8	63,1	42,9	64,9	62,2
20	49,2	77,9	79,6	44,0	72,7	73,6
21	37,9	63,5	61,5	46,6	65,0	61,2
22	34,4	61,5	58,8	47,8	63,0	59,3
23	42,0	59,8	57,2	42,3	61,0	57,8
24	48,4	61,3	60,5	56,8	60,4	61,0
25	50,4	63,1	61,5	57,4	63,5	61,5
26	32,7	67,4	63,2	27,3	65,9	62,6
27	48,7	78,4	75,0	48,4	72,7	72,4

Tabla 2: Medidas de niveles equivalentes de ruido.

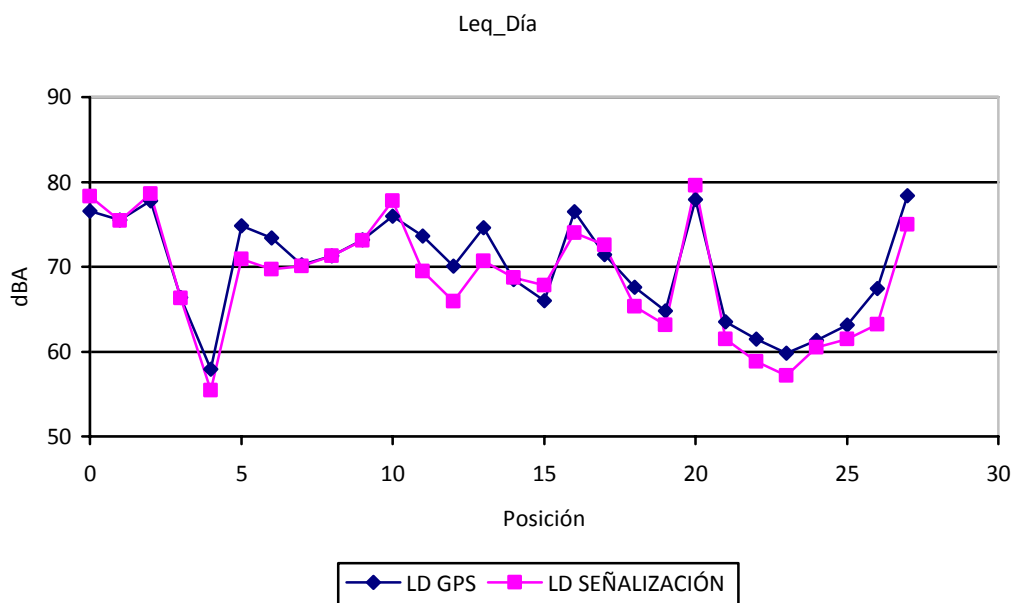


Figura 2: Comparación de niveles equivalentes de ruido en el periodo Día.

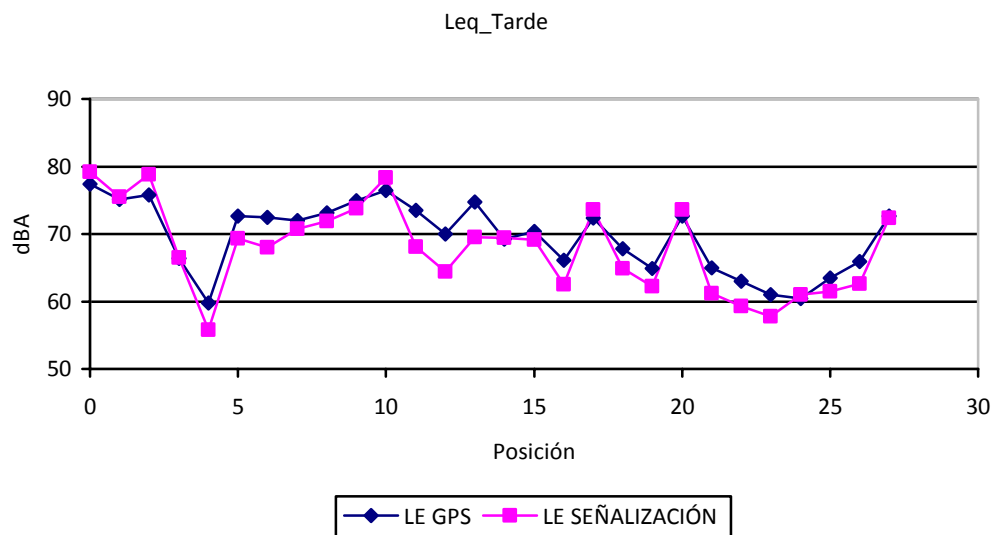


Figura 3: Comparación de niveles equivalentes de ruido en el periodo Tarde.

5. Conclusiones

En la tabla 2 se han destacado con sombreado gris los valores de nivel equivalente que superan en 4 dB al valor correspondiente a la limitación de velocidad, En estos viales sería aconsejable confirmar el cumplimiento de los límites de velocidad,

También se recomienda revisar las vías en que los niveles equivalentes superen los 65 dBA, de acuerdo con la recomendación para zonas urbanas consolidadas, en las que sería recomendable la modificación del tráfico de vehículos en velocidad, densidad o tipología, u otro tipo de técnicas como la modificación del pavimento,

6. Bibliografía

- AUSEJO, M; RECUERO, M, *Estudio de la validación, errores e incertidumbre en la elaboración de mapas de ruido*, Tesis Doctoral, UPM, 2009, Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales, 2009,
- ARANA, M,, et al,, 2009, *Using noise mapping to evaluate the percentage of people affected by noise*, Acta Acustica united with Acustica, vol, nº 95 (2009), pp, 550-554,
- AUSEJO, M,, et al,, 2009, *Study of precision, deviations and uncertainty in the design of the strategic noise map of the microcenter of the city of Buenos Aires, Argentina*, Environmental Modeling and Assessment, (DOI: 10.1007/s10666-009-9191-9),
- DMAH (Departament de Medi Ambient i Habitatge de Barcelona), 2008, *La gestión de la velocidad variable entra en funcionamiento en la autovía de Castelldefels y la autopista del Garraf*, Diciembre 2008,
- EEA, 2009, *Transport at the crossroads*, EEA report, vol, nº 3 (2009), ISSN 1725-9177,
- EL-FADEL, M,, et al,, 2002, *Parametric sensitivity analysis of noise impact of multihighways in urban areas*, Environmental Impact Assessment Review, vol, nº 22 (2002), pp, 1245-162,

- EUROPEAN COMMISSION, 2002, Directive 2002/49/CE of European Parliament and Council of June 2002 relating to the assessment and management of environmental noise, Official Journal of the European Communities, 2002,
- I2A2, 2008, Mapa estratégico de ruido de Palma de Mallorca, Report: 06LEA1856F02, Universidad Politécnica de Madrid,
- WG-AEN (European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise), 2007, Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, Position Paper, Final Draft, Version 2, 13th August 2007,

Este informe ha sido elaborado por el Grupo de Investigación y Desarrollo en Acústica-IDEA, de la Escuela Politécnica de Cuenca, a fecha 22 de junio de 2012.

**GRUPO IDEA
E, POLITÉCNICA de CUENCA
UNIVERSIDAD de CASTILLA-LA MANCHA**

Anexo:

Directrices de posibles acciones a desarrollar en el plan de acción del mapa estratégico de ruido de la ciudad de Cuenca.

**PLAN DE ACTUACIÓN ACÚSTICA A FAVOR DE LA SOSTENIBILIDAD
AMBIENTAL EN EL MUNICIPIO DE CUENCA - LIFE+ (REF. LIFE08 ENV/E/000110)**

DIRECTRICES PARA EL PLAN DE ACCIÓN

- Estudio de la fluidez del tráfico en las grandes vías de acceso de la ciudad.
- Adecuación de la velocidad de tráfico en las grandes vías de acceso de la ciudad.
- Monitorización de la velocidad de tráfico para reeducar a los conductores y sanción en caso necesario.
- Estudio de la tipología de vehículos circulando por la ciudad y su adecuación para que tenga un menor impacto sonoro.
- Monitorización de vehículos ruidosos y sanción en caso necesario.
- Gestión eficiente de la fluidez de tráfico urbano, p.ej. adecuación de los tiempos de los semáforos a la hora del día.
- Plan de reeducación vial.
- Promoción, adecuación y gestión eficaz del transporte urbano e interurbano para reducir la cantidad de vehículos por la ciudad.
- Monitorización de malas prácticas sonoras: locales de ocio, obras, aglomeraciones puntuales de tráfico (p.ej. entradas colegios), etc. y sanción en caso necesario.
- Control de fuentes muy puntuales de ruido, p.ej. concentración de locales de ocio.
- Protección sonora de zonas acústicamente agradables.
- Actuación en zonas acústicamente desagradables o saturadas.
- Al tratar de corregir una zona acústicamente saturada o desagradable evitar trasladar el problema de ruido a otra que en principio no tiene problemas o que se considera agradable.

En Cuenca, a 14 diciembre de 2011.

Grupo IDEA
E. Politécnica de Cuenca
Universidad de Castilla-La Mancha