

## CARACTERIZACIÓN ACÚSTICA DE UNA GLORIETA

PACS: 43.50.Lj

Fernando López Santos, David Carretero de la Rocha  
Sincosur Ingenieria Sostenible, S.L.  
Avda. San Francisco Javier, nº 9, Edif. Sevilla 2, Plta. 5ª, Mód. 27-28  
41018 Sevilla, España  
Tel: 954 510 031, Fax: 954 250 684,  
E-Mail: flopez@sincosur.es, dcarretero@sincosur.es

### ABSTRACT

The noise generated by road traffic in a city assumes values close to 80% of existing noise, so it is vital characterization. The urban road systems have increasingly number with regulating traffic roundabouts by excellent performance against mobility and road safety. Applying computational methods traditional noise about roundabouts generates a very high uncertainty, since the vehicle motion and flow and opposed simulations occurring therein. The characterization and acoustic simulation of a roundabout is often a neglected aspect in the overall noise maps, however, detailed studies, we shall define clear and precise guidelines that reduce the uncertainty of the noise levels obtained. In the present communication procedures and methods are defined, evaluate situations and propagation models that optimize the acoustic calculation

Keywords: Roundabout noise, traffic noise, acoustic simulation, roundabout model

### RESUMEN

El ruido generado por el tráfico viario en una ciudad supone valores cercanos al 80 % del total del ruido existente, por lo que es de vital importancia su caracterización. Los sistemas viarios urbanos cuentan cada vez en mayor número con glorietas que regulan el tráfico, por su magnífico comportamiento frente a la movilidad y seguridad vial. La aplicación de los métodos de cálculo de ruidos tradicionales sobre las glorietas genera una incertidumbre muy elevada, dado los movimientos y flujos de vehículos simultáneos y contrapuestos que se producen en la misma. La caracterización y simulación acústica de una glorieta suele ser un aspecto descuidado en los mapas de ruido globales, sin embargo, en estudios de detalle es interesante definir unas pautas claras y precisas que reduzcan la incertidumbre de los niveles acústicos obtenidos. En la presente comunicación se definen procedimientos y métodos, se evalúan situaciones y modelos de propagación que optimicen el cálculo acústico.

Palabras-clave: Ruido Glorieta, Ruido tráfico, simulación acústica, modelo glorieta

## 1.- INTRODUCCIÓN

Todos los autores coinciden en señalar el tráfico como la principal fuente de contaminación acústica en las zonas urbanas. Los niveles de contaminación generados por el tráfico alcanzan el 80 % del total que se genera en un núcleo urbano. Su evaluación y control nos permitirá avanzar en la minimización de la afección acústica que genera la infraestructura de transporte viario.

Desde el punto de vista de ingeniería de tráfico para resolver la intersección de dos vías de tráfico rodado existen diferentes posibilidades: intersecciones reguladas por prioridad, intersecciones semafóricas, pasos a diferente nivel y glorietas.

La utilización de glorietas dentro de las ciudades y en los accesos, están proliferando de forma importante en base a su buen comportamiento desde el punto de vista de la seguridad vial y de la capacidad que poseen de conceder el derecho de paso a vehículos con movimientos incompatibles.

Desde el punto de vista acústico una glorieta se presenta como un emisor complejo de modelar mediante modelos matemáticos de cálculo ya que inciden en un mismo punto varios emisores "vianos" con zonas de aceleración, frenado, tráfico constante, por pulsos, etc... que requieren un estudio detallado para conseguir minimizar la incertidumbre en el nivel acústico generado por la glorieta.

Con el fin de proponer una metodología que nos permita caracterizar acústicamente una glorieta, minimizando los recursos requeridos para ello y la incertidumbre en los valores que puedan obtenerse, se presenta a continuación un estudio donde se analizan y comprueban los resultados de cuatro procedimientos distintos.

## 2.- MODELO ACÚSTICO

Para la determinación de los niveles sonoros en el presente estudio se ha hecho uso de un modelo predictivo de simulación por ordenador, el denominado "Método francés" de ruido de tráfico rodado, «NMPB-Routes-96 (SETRA-CERTULCPCSTB)», contemplado en el «Arrêté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routières, Journal officiel du 10 mai 1995, article 6» y en la norma francesa «XPS 31-133». Este método constituye el recomendado en la normativa vigente para el cálculo de ruido de tráfico viario.

Este modelo predictivo calcula el nivel de potencia sonora  $L_w$  y la emisión sonora  $E$  a partir del nivel de presión sonora ( $L_p$ ) y la velocidad del vehículo ( $V$ ), según las siguientes fórmulas:

$$L_w = L_p + 25.5 \quad E = (L_w - 10 \cdot \log V - 50)$$

Así pues, la emisión  $E$  es un nivel sonoro que puede describirse en términos de dB(A) como el nivel sonoro  $Leq$  en la isófona de referencia debido a un solo vehículo por hora en condiciones de tráfico que es función de:

- **Tipo de vehículo:** ligeros (< 3.5 toneladas de carga útil) o pesados ( $\geq$  3.5 toneladas)
- **Velocidad**
- **Flujo de tráfico:** distinguiendo flujo continuo fluido, flujo continuo en pulsos, flujo acelerado en pulsos y flujo decelerado en pulsos
- **Perfil longitudinal:** tramo horizontal (pendiente < 2%) y tramo ascendente o descendente (pendiente  $\geq$  2%)

Así mismo, el modelo prevé una corrección por el tipo de pavimento ya que por encima de una determinada velocidad, el ruido total emitido por un vehículo está dominado por el contacto entre el neumático y la carretera. Dicho ruido depende de la velocidad a que circula el vehículo, el pavimento de la vía (en particular, las superficies porosas e insonorizantes) y el tipo de neumático. La «Guide du bruit 1980» proporciona un valor normalizado de emisión sonora para cada tipo de pavimento.

### 3.- ESTUDIO PILOTO

El consejo de administración del Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial del Ministerio de Ciencia e Innovación del 31 de marzo de 2010 aprobó su participación en el proyecto de cooperación interempresas denominado **“I+D DE UN SISTEMA DE PREFERENCIA AL TRANSPORTE PÚBLICO EN REDES URBANAS QUE OPTIMICE EL BALANCE MEDIOAMBIENTAL”** presentado por las empresas Aeronaval de Construcciones e Instalaciones S.A. (ACISA) y **SINCOSUR Ingeniería Sostenible, S.L.** Dentro de este proyecto se desarrolló un estudio piloto sobre el tranvía en superficie existente en la ciudad de Sevilla en el tramo comprendido entre la Estación de San Bernardo y el Prado de San Sebastián.

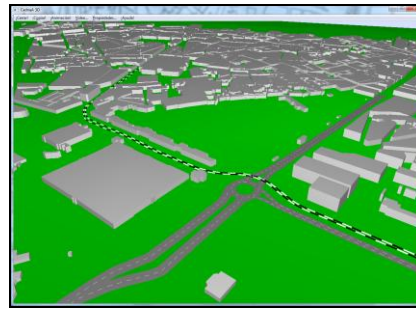
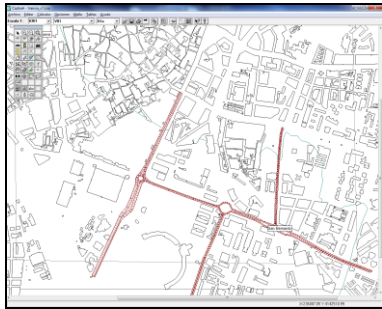
Dentro de este tramo se encuentra la glorieta “Plaza San Juan de Austria” sobre la que hemos realizado el estudio acústico que aquí presentamos. El estudio surge por la necesidad de calcular la emisión acústica de la glorieta en las diferentes estrategias de regulación del tráfico que se han simulado mediante un software específico, el cual nos permite conocer los movimientos que realiza cada vehículo que accede a la intersección, determinando de esta forma la contaminación acústica generada por cada estrategia de control.



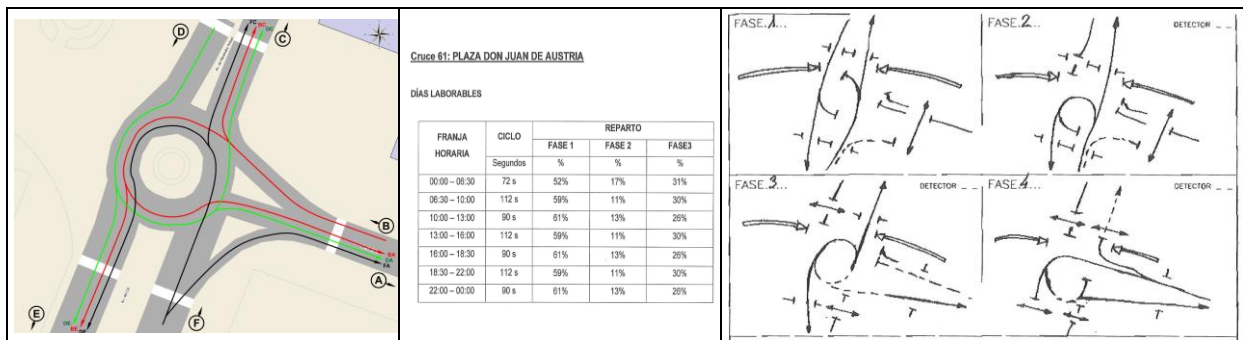
El trabajo realizado en este estudio ha comprendido la elaboración del modelo 3D de la zona, la caracterización del tráfico viario mediante aforos direccionales, la identificación de los planes de regulación (fases, ciclos, repartos y programas semafóricos), el planteamiento de alternativas, la configuración y simulación del modelo 3D y la elaboración de mediciones acústicas.

### 4.- DESARROLLO DEL ESTUDIO

El modelo 3D del área de estudio se construyó a partir de la cartografía georeferenciada suministrada por el Ayuntamiento, revisada mediante trabajo de campo para su incorporación al software de simulación acústica CadnaA:




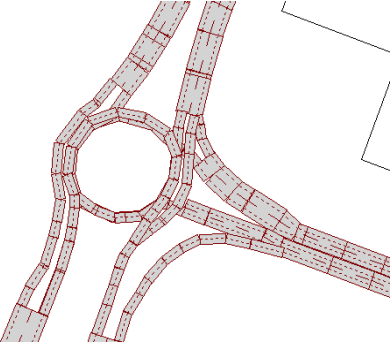
La caracterización del tráfico se realizó mediante aforos direccionales manuales de 15 minutos de duración, obteniendo, adicionalmente, del centro de control de tráfico del Ayuntamiento, los datos históricos de Intensidad Media Diaria e Intensidad Hora Punta almacenados de las vías englobadas dentro del área de estudio de nuestro trabajo.



Respecto a los programas de regulación semafórica, ciclos, fases y repartos, el Centro de Control de Tráfico del Ayuntamiento de Sevilla nos suministró esta información.

La hipótesis planteada en este estudio propone cuatro configuraciones con diferentes geométricas y volúmenes de tráfico en el interior de la glorieta:

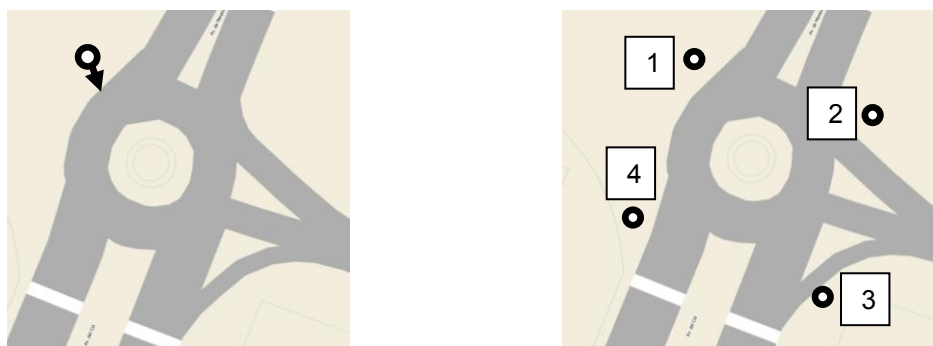
<b>CASO A</b>	<b>CASO B</b>
<p>La glorieta se desestima y se convierte en cruce de calles en T. Se consideran los flujos de tráfico de las vías que entran y salen de la glorieta.</p>	<p>Se mantiene la glorieta asignando a las vías los tráficos de entrada y salida de la glorieta y al anillo central se le asigna la suma de los flujos de entrada de cada uno de los accesos a la glorieta.</p>

<b>CASO C</b>	<b>CASO D</b>
 <p>Igual al caso B pero considerando como flujo de tráfico circular el resultado de sumar el tráfico de los accesos y dividirlo por el número de salidas de las glorietas.</p>	 <p>Considerar los flujos de los aforos direccionales obtenidos para cada movimiento y crear un modelo 3D que tenga en cuenta como emisor viario cada movimiento.</p>

Es necesario tener en cuenta que el tráfico que circula en todas las vías del área de estudio se comporta de una forma pulsante, es decir, se detiene y avanza en función de la disponibilidad de acceso a la glorieta. En esta, en particular, el problema es más complejo pues existen semáforos en las vías y en el interior de la rotonda que genera más cambios de aceleración y deceleración. Por estos motivos, todas las vías de tráfico en los cuatro casos se configurarán como de flujo continuo pulsante, con circulación de 50 Km/h.

### 5.- RESULTADOS OBTENIDOS

De forma paralela a la modelización de los cuatro escenarios planteados, se realizó una medida acústica en un punto de la glorieta utilizando un sonómetro Clase I, conforme a las normas ISO de medición acústica, para poder determinar el grado de aproximación de cada uno de los resultados con la realidad, obteniendo un valor LAeq (1 hora) de 68,54 dB. El punto seleccionado y la orientación del sonómetro se muestran a continuación.

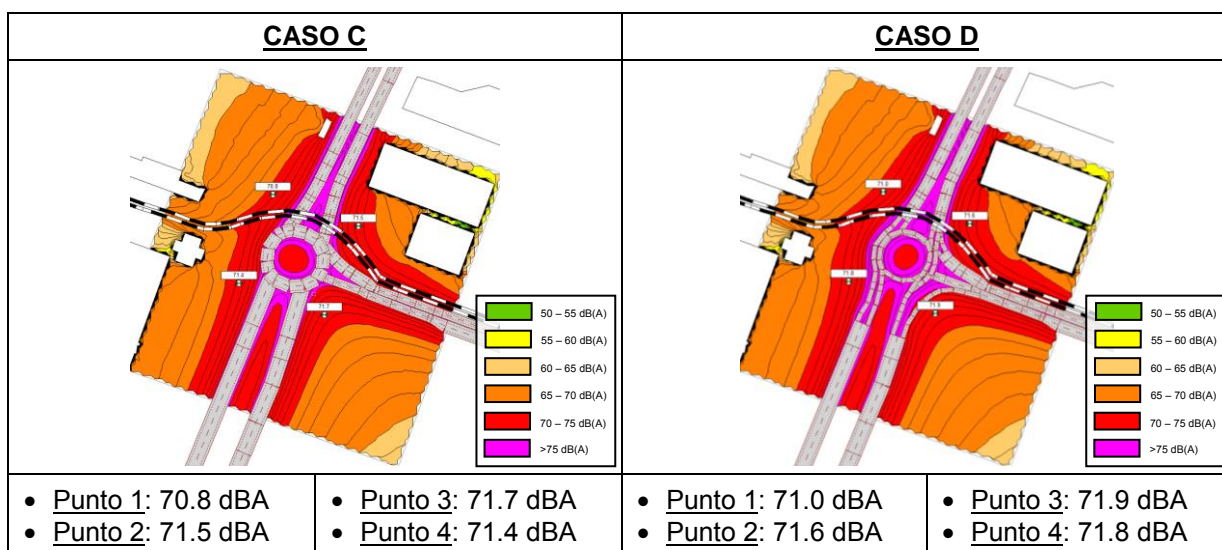
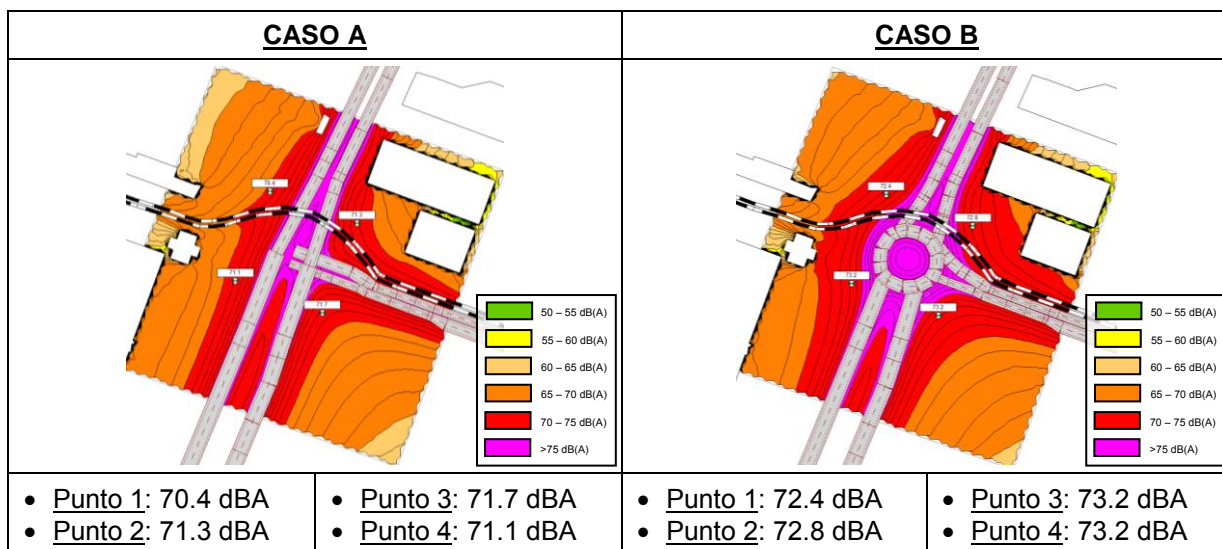


Así mismo, en cada uno de los escenarios se han establecido cuatro receptores sonoros idénticos para evaluar el ruido de la glorieta, de los cuales el punto 1 se corresponde con el mismo punto donde se situó el sonómetro de la medida descrita.



Para caracterizar en el modelo las condiciones en las que realizaron las medidas de la forma más precisa posible, se ha incluido la línea del tranvía que atraviesa la glorieta y circula en las proximidades del punto donde se ejecutó la medida acústica.

Tras ejecutar las simulaciones se han obtenido los siguientes resultados, evaluando únicamente el LAeq (1 hora) para el periodo día.



## 6.- CONCLUSIONES

En primer lugar, es necesario tener en cuenta con respecto a la medida acústica in situ que los resultados obtenidos no tienen por qué coincidir de forma estricta con los resultados del modelo predictivo. La medida acústica en pocos casos garantiza la repetitividad del experimento, otorgando valores similares, pero no necesariamente iguales, en cada una de las repeticiones, en función del periodo de muestreo y del estado de variables que definan el ambiente sonoro. Por otro lado, una medida del LAeq de 1 hora en un momento determinado de un día concreto no es una garantía de que ese dato sea significativo y represente el nivel medio en 1 hora en el periodo día para cualquier día del año, como ocurre en el modelo predictivo. Así mismo, la

incertidumbre de una medida de una hora de tráfico urbano como representativo del valor diario puede alcanzar incertidumbres de  $\pm 4$  dBA. Por estos motivos, a la hora de comparar los resultados obtenidos en el modelo acústico predictivo con el valor de la medida in situ las conclusiones de esta comparación deberán ser tomadas únicamente a modo orientativo para tomar unas conclusiones finales basadas en otros criterios de mayor peso.

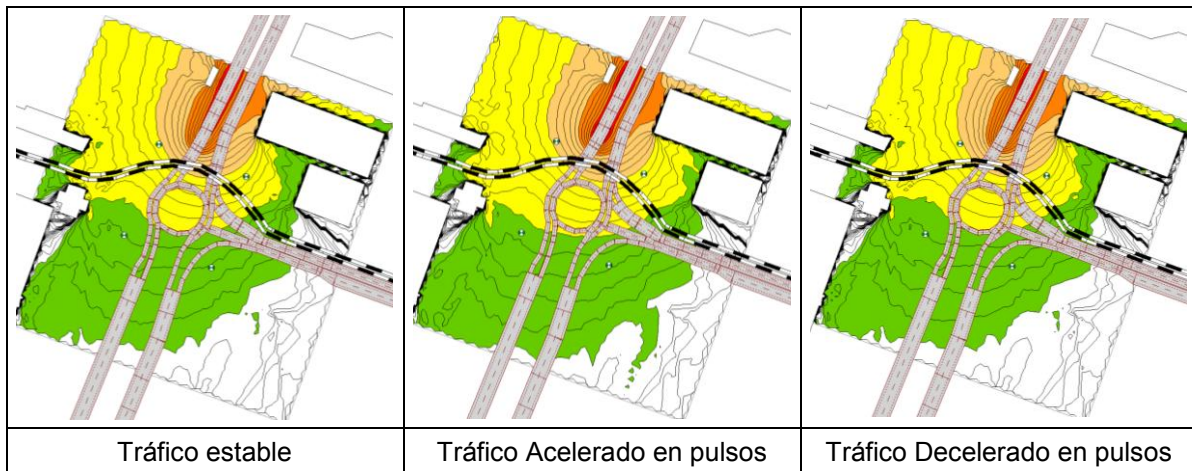
Teóricamente, la forma más precisa de calcular el nivel sonoro de una glorieta se plantea como el análisis, segundo a segundo, de las emisiones producidas por cada coche (caracterizados como fuentes puntuales) conforme se van desplazando por la glorieta y su entorno [1]. Sin embargo, este planteamiento se desechó desde el principio para la elaboración de nuestro proyecto debido a la desproporcionada cantidad de recursos requeridos para obtener un nivel sonoro.

Por este motivo se elaboró el diseño correspondiente al caso D como una alternativa precisa que tuviera en cuenta los movimientos de los coches mediante fuentes lineales independientes configuradas con los datos de los aforos obtenidos. Aunque este caso debería ser el que obtuviera mejores resultados, se comprueba que existe una diferencia de 2,46 dBA al comparar el punto 1 del modelo con su equivalente de la medida acústica, obteniendo el caso A y C niveles más próximos.

Una posible explicación a esta diferencia radica en que se contempla que durante todo el intervalo de simulación todos los semáforos están en verde, no considerando aquellos instantes en las que hay vías cuyo tráfico está detenido y, por tanto, la emisión acústica es despreciable, ya que en situación de parada el único ruido generado por los vehículos es el del motor en ralentí, siendo este de muy bajo nivel sonoro en comparación con el de los vehículos que aceleran, frenan o se encuentran en circulación.

Para conseguir unos valores más precisos considerando los ciclos semafóricos, sería necesario realizar un estudio detallado de la emisión de cada vía en función de los tramos de aceleración, deceleración y flujo estable que contenga. El procedimiento necesario para tal efecto se describe a continuación:

- Determinar para cada vía los tramos de aceleración, deceleración y tráfico estable, teniendo en cuenta que, según las guía de buenas prácticas de la WG-AEN [6] la longitud del tramo de aceleración tendrá que ser dos veces el valor de la velocidad (en nuestro caso 100 metros) y para el tramo de deceleración tres veces la velocidad (150 metros).
- Calcular, para cada vía, los niveles sonoros producidos por cada tramo considerando, de forma independiente, los distintos flujos de emisión. En la siguiente figura, a modo de ejemplo, se muestran los resultados del cálculo configurando un tramo de vía con tráfico estable, en aceleración y en deceleración:



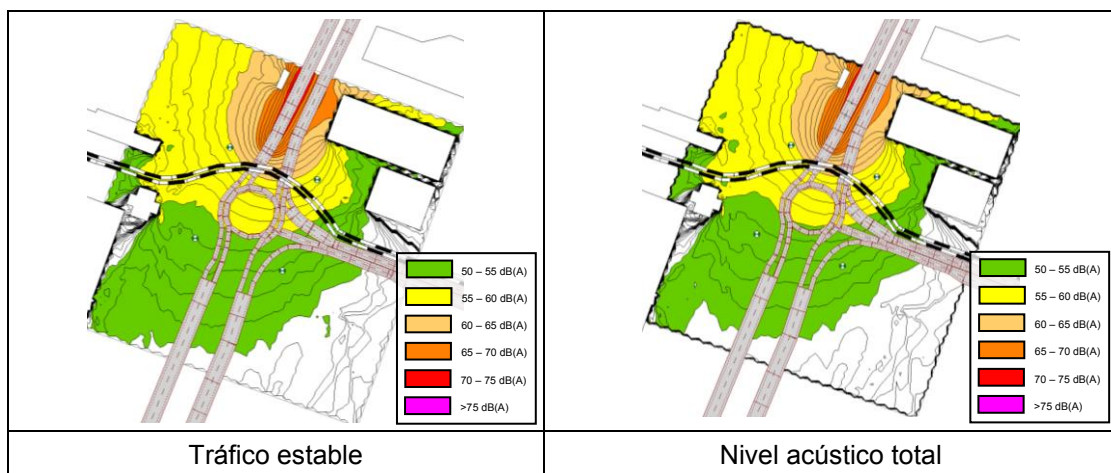
- En función del ciclo semafórico que controla una determinada vía (o en su defecto del tiempo medio de acceso a la rotonda) se determina el porcentaje del tiempo en el que el flujo de tráfico es estable, acelerado, decelerado o se encuentra detenido. Conociendo esto se podrá determinar el nivel acústico total de dicha vía sumando de forma energética y proporcional el nivel acústico producido por cada estado del flujo, mediante la siguiente fórmula:

$$NPS = 10 \log \left[ \%_{est} \left( 10^{NPS_{est}/10} \right) + \%_{ace} \left( 10^{NPS_{ace}/10} \right) + \%_{dec} \left( 10^{NPS_{dec}/10} \right) \right]$$

Siendo:

- o %est, %ace, %dec: Porcentajes de tiempo en el que el flujo es estable, acelerado y decelerado, respectivamente, con respecto al total de 1 hora.
- o NPS: Nivel de Presión Sonora

En la siguiente figura se representa el nivel acústico total de la vía del ejemplo, utilizando la fórmula mencionada. Se puede observar que este nivel es menor que el de los casos anteriores, como cabía esperar, dado que dentro del LAeq de 1 hora que se determina en el total se integra el tiempo en el que la carretera no produce emisión debido a los vehículos parados (semáforo en rojo):





- Repitiendo los pasos anteriores para todas las vías y sumando energéticamente las aportaciones acústicas de todas se obtendrán los niveles sonoros totales en la glorieta.

Este procedimiento, si bien teóricamente nos debería proporcionar los mejores resultados, su determinación requiere una ingente cantidad de recursos, por lo que para la caracterización acústica de una glorieta cualquiera será recomendable considerar otro procedimiento de los descritos, aun a costa de asumir una incertidumbre mayor.

Considerando el caso B, en el que el tráfico de la glorieta se determina como la suma de los tráficos de entrada, se observa una diferencia de 3.86 dBA con respecto a la medida acústica, constituyéndose esta como la diferencia más elevada de los cuatro casos propuestos. La configuración planteada en este caso presupone que todo el tráfico que accede a la glorieta realiza, al menos, una vuelta completa antes de salir. Obviamente, esto no sucede en la realidad, y probablemente en términos generales los vehículos no completen más de media vuelta a la glorieta.

Por este motivo, como una mejora del caso B, se propone el caso C, en el que se asigna como tráfico de la glorieta una parte del tráfico que accede a la misma. Se ha estimado que constituye una buena aproximación suponer que el tráfico del anillo de la rotonda en términos medios se constituye como el reparto del tráfico de entrada entre las distintas vías de salida. En el caso propuesto, 3 salidas.

Tras la simulación se comprueba que este caso reduce en 1.6 dBA la diferencia obtenida en el caso B con respecto a la medida in situ, quedándose a 2.26 dBA del valor de la misma, obteniendo el segundo resultado más cercano.

Por último, el caso A, en el que se elimina el anillo de la glorieta, obtiene los mejores resultados considerando el valor de la medida, con una diferencia de 1.86 dBA. Sin embargo, este planteamiento supone la no consideración de la geometría original de la fuente, no siendo muy recomendable especialmente en aquellas glorietas en el que el anillo de la misma tenga un diámetro grande en comparación con la distancia entre los sentidos de cada vía de entrada y salida. En la glorieta utilizada como ejemplo este planteamiento funciona de forma adecuada ya que el diámetro de la rotonda prácticamente cuenta con el mismo valor que la distancia entre las vías principales.

En vista de los resultados obtenidos se concluye finalmente que la hipótesis del caso C, en la que se asigna como flujo de tráfico circular el resultado de sumar el tráfico de los accesos y dividirlo por el número de salidas de la glorieta, es la más adecuada para la caracterización de una glorieta cualquiera, ya que conservando la geometría de la fuente, y utilizando pocos recursos obtiene unos valores de los niveles de presión sonora cercanos a la realidad.

## 7.- BIBLIOGRAFIA

- [1] Chevallier, E., L. Leclercq a,\*, J. Lelong b, R. Chatagnon et al. Dynamic noise modeling at roundabouts. Applied Acoustics. 70. (2009)
- [2] Koichi Yoshihisa et al. Road traffic noise prediction in the vicinity of signalized intersections in urban areas. Proc. ICA2004, IV-3019-3022. (2004)
- [3] Olexa Piddubniak, Nadia Piddubniak, Sound Radiation from a Roundabout, Arch. Acoust., 35, 3, 437–456 (2010), DOI: 10.2478/v10168-010-0035-z
- [4] Cueto, Jose Luis et al. Traffic management strategy to reduce environmental noise in cities based on the application of ITS. INTERNOISE 2012.

[5] "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, del tráfico rodado y ferroviario y los datos de emisiones correspondientes" (D.O.C.E. de 22 de Agosto de 2003)

[6] European Commission Working Group Assessment of Exposure to Noise (WG-AEN), Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure Version 2 13th January 2006.