



INSTALACIÓN DE PANTALLAS ACÚSTICAS: PROCEDIMIENTO A SEGUIR

PACS: 43.50.Gf

María Arias Fontalba; Antonio Jimenez Zumaquero; Cesar Carmona Maqueda
Aistec Aislamientos S.L.
Licurgo 35
29003 Málaga
Tel: 902 120 284
Fax: 952 171 488
E-mail: info@aistec.es

INTRODUCCIÓN

Dado que la polución por ruido de tráfico es uno de los agentes contaminantes que más deterioran la calidad de vida de los ciudadanos de nuestro país, durante los últimos años, se ha incrementado el uso de barreras acústicas a lo largo de las vías de penetración y circunvalación de las grandes ciudades. El principal motivo se debe a la concienciación por parte de los ciudadanos y de las administraciones ante dicho problema.

Aunque la reacción sea actual, la comunidad científica lleva estudiando las posibles soluciones más de 30 años. Así lo demuestran los trabajos pioneros de Redfearn [1], Maekawa [2] y Kurze [3] entre otros.

Para estudiar la viabilidad de una pantalla antirruído en una carretera, será necesario analizar, entre otras cosas, el binomio coste-eficacia, debido, principalmente, a las grandes superficies a cubrir en nuestro país.

Como análisis previo a la instalación de una pantalla acústica, debe determinarse la topografía de los emplazamientos del emisor y del receptor, así como las características acústicas del terreno y los condicionantes climatológicos y atmosféricos de dicho lugar, debido a que, todo ello repercutirá en la eficacia final de la pantalla.

REFLEXIÓN, TRANSMISIÓN, DIFRACCIÓN DE ONDAS SONORAS

Para la comprensión del funcionamiento básico de una pantalla acústica, es necesario basarse en los fenómenos que experimenta el sonido en su encuentro con un cambio de medio físico.

Cuando una onda sonora se propaga a través de un medio y encuentra a su paso una superficie de separación con otro medio, se origina una onda reflejada en el medio origen y una onda transmitida en el segundo. Por regla general, una onda acústica experimentará una reflexión siempre que exista una discontinuidad o un cambio en el medio a través del cual se propaga la onda. Así, se denomina "sonido directo" al sonido que viaja por el camino más corto, y "sonido reflejado" a aquel que, tras chocar con el obstáculo entre emisor-receptor, vuelve al punto de recepción.

De esta manera, si suponemos solo la influencia del terreno en la propagación del sonido entre un emisor y un receptor en espacio abierto, se observarían 2 posibles caminos en ausencia de una pantalla. Al receptor llegaría el "sonido directo" a lo que habría que sumarle la contribución energética proveniente del "sonido reflejado" en el terreno. Esta fenomenología comenzó su estudio en los años 50, pudiéndose encontrar una buena sistematización en los trabajos de Attenborough et al. [4] y de Chien y Soroka [5]. Según Delany y Bazley [6], Embleton [7], el margen de frecuencias en los que se produce una interferencia destructiva depende de forma crítica de la resistividad al flujo de aire de la superficie del terreno, que es la causante de los cambios de fase debidos a la reflexión de la onda esférica incidente.

Existe además otro fenómeno conocido como refracción del sonido, definido como el cambio de dirección de las ondas incidentes al pasar de un medio con una cierta velocidad de propagación, a otro. La ley de propagación rectilínea de las ondas sonoras, no es rigurosamente válida, sino que, en alguna medida, las ondas sonoras se curvan en las cercanías de los obstáculos. Para observar este efecto, se tienen que comparar las dimensiones del obstáculo con la longitud de onda de las ondas sonoras, ya que si esta es mucho mayor que las dimensiones del obstáculo, este fenómeno es muy difícil de apreciar.. Un ejemplo frecuente es la curvatura de las ondas sonoras tras chocar contra una abertura.

Como resultado de la difracción aparecen zonas de sombra sonora. Es por ello que en el caso de las pantallas acústicas como técnica de control de ruido, es importante considerar la relación entre la longitud de onda, las propiedades direccionales de una fuente y, sobre todo, una correcta modelización del terreno.

Estudiando el caso detenidamente, cuando se interpone una pantalla antirruído entre un emisor y un receptor, la contribución de la onda directa se reemplaza por la onda difractada sobre la cumbre de la pantalla, con lo que reduce su acción. La influencia de la onda reflejada, ya no resultará tan significativa, debido a que su camino queda interrumpido por la interposición de la pantalla. Scholes et al. [8] demostraron experimentalmente la confirmación de estos hechos, por lo que, en ciertas circunstancias, la interposición mal estudiada de una pantalla puede producir los efectos contrarios a los deseados. La solución analítica del problema, requiere una modelización adecuada de la impedancia del terreno donde se produce la reflexión.

Otro dato a tener en cuenta en dichos algoritmos de predicción, son las propiedades direccionales de la fuente (carreteras, vías férreas, instalaciones industriales, etc.). Dichas propiedades dependen de la relación entre la longitud de onda del sonido radiado y de las dimensiones de la fuente sonora, y la efectividad de una barrera en cuanto a protección de un punto a un lado de la barrera del ruido procedente de una fuente en el otro lado, depende de la relación entre la altura de la barrera y la longitud de onda del sonido. Por ello es importante conocer cada uno de los casos concretos en los cuales se va a instalar la pantalla acústica y analizar así todos los parámetros necesarios para optimizar la altura y extensión de la misma en función de las fuentes, el tipo de sonido, topografía del terreno, distancias, etc.

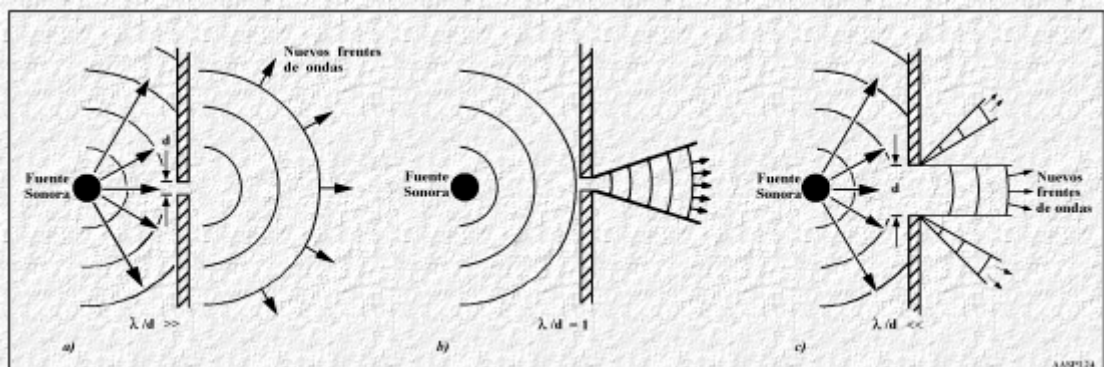


Fig.1 Difracción

ELABORACIÓN DE PROYECTOS DE PANTALLAS

Para la elaboración de un proyecto de instalación de pantallas acústicas, será necesario tener en cuenta, no solo la valoración de la efectividad acústica de la pantalla, sino también la posibilidad de su construcción en el emplazamiento estudiado. Es por ello que dividimos este apartado en dos secciones:

MODELOS MATEMÁTICOS. CADNA-A

Predicción y simulación de escenarios

Partiendo de los estudios de Somerfeld [9], Maekawa establece un ábaco para el cálculo de la atenuación por pérdidas de inserción, IL, en función del número de Fresnel, N, que tiene en cuenta la diferencia de caminos entre la onda difractada por el borde de la pantalla y el rayo directo. En la misma época Keller [10] establece la teoría geométrica de la difracción, GTD, que da cuenta precisa de los fenómenos involucrados en el proceso de forma analítica. Las últimas tres décadas presentan una profusión de bibliografía relacionada con estos aspectos, debiendo resaltar los trabajos de Kurza-Anderson y Ullrich entre otros, ya que sus algoritmos son de amplia aplicación en los programas de predicción utilizados en diferentes normas, reglamentos, ingenierías y “software” comercial.

En dichos estudios teóricos se basa el software de predicción acústica en exteriores Cadna-A, el cual permite realizar simulaciones acústicas según distintos estándares/normas (Alemana, Francesa, Suiza, Escandinava, Gran Bretaña, etc.), y teniendo en cuenta aquellos datos importantes ya mencionados como: modelización del terreno (topografía, absorción, reflexión), caracterización de la pantalla acústica a instalar, etc. En definitiva, es un modelo matemático que predice, en nuestro caso, el comportamiento de una pantalla acústica en un determinado entorno, teniendo en cuenta, no solo las condiciones del terreno, sino también los coeficientes de absorción de la pantalla en concreto, el flujo de tráfico dado por el IMD de las carreteras, etc.

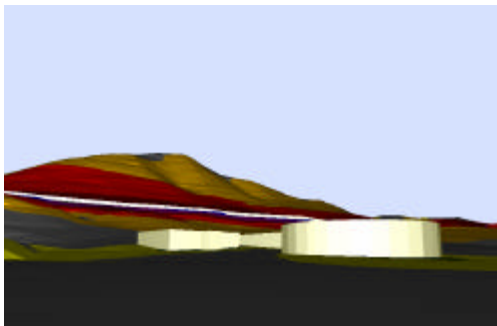


Fig.2. Vista en 3D simulada mediante el software Cadna-A



Fig. 3. Situación real. Modelo de simulación

De esta manera puede optimizarse, según el caso concreto, la altura y distribución de la pantalla a lo largo de la vía y, por tanto, reducir el coste de la misma. Se han realizado estudios empíricos tanto en carreteras y ferrocarriles (donde suele ser bastante influyente la topografía), como en instalaciones industriales (gasolineras, supermercados, etc.).

Como ejemplo, se van a mostrar los resultados obtenidos en una gasolinera, en la cual se hizo una medición previa, un estudio acústico con mapa de ruido, la instalación de la pantalla acústica y una medición posterior para comprobar los resultados. Para ello se muestra a continuación la paleta de colores que identifica los niveles acústicos predichos por el software, tanto en los planos como en las vistas en 3D.

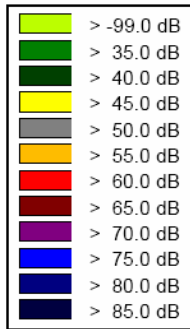


Fig.4 Leyenda

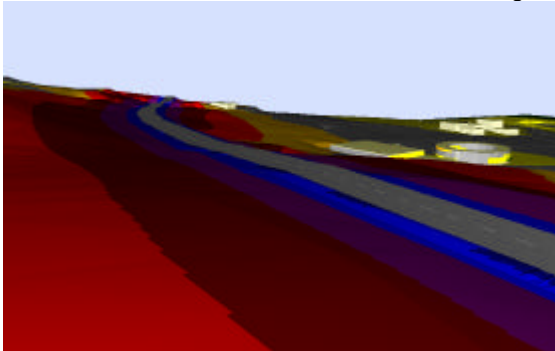


Fig.5 Dibujo 3D estudio acústico para modificación de PGOU (Málaga). Situación inicial

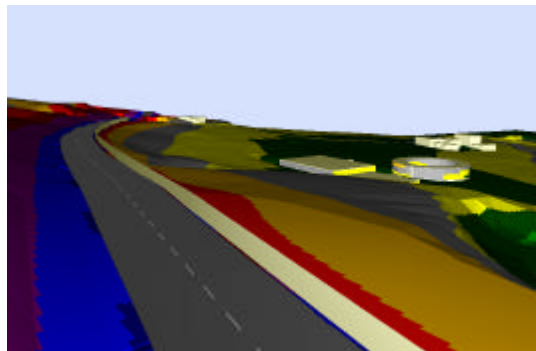


Fig.6 Dibujo 3D estudio acústico para PGOU (Málaga). Pantalla 4 m

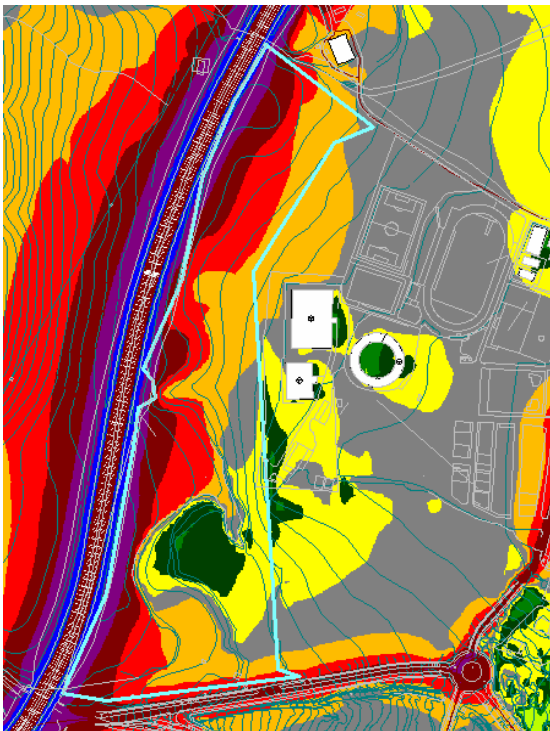


Fig.7 Situación inicial

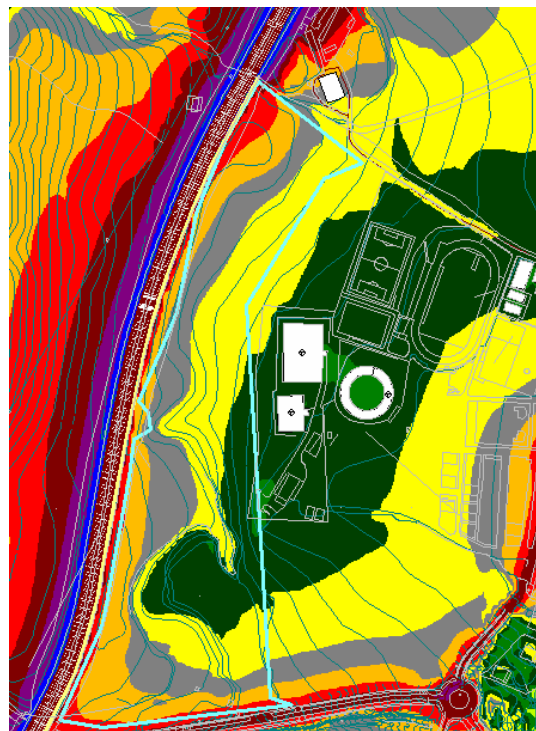


Fig.8. Situación con pantalla acústica de 4m de altura



Fig.9 Vista de la gasolinera

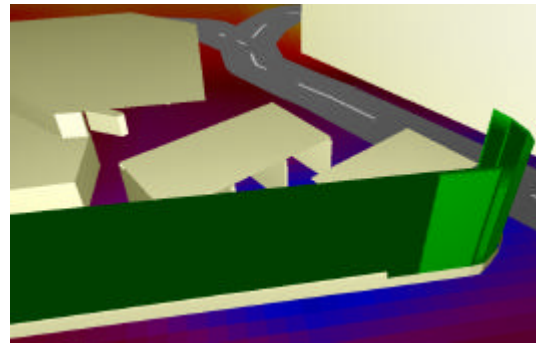


Fig.10 Simulación en 3D de la gasolinera



Fig.11 Plano inicial de la Estación de Servicio

Como ejemplo de la efectividad del cálculo del software de simulación acústica en exteriores Cadna-A, se presentan los resultados de un estudio completo, formado por una medición previa (toma de niveles en distintos puntos de la Estación de Servicio para poder caracterizarla acústicamente), un estudio acústico con mapa de ruido, y una medición posterior.

Se ha seleccionado un punto concreto de medida, para poder establecer la comparativa (dicho punto se muestra en el plano). Las mediciones, tanto la previa como la posterior, se realizaron durante 15 minutos. Los resultados se muestran en la siguiente tabla:

	PREVIA	SIMULACIÓN	POSTERIOR
Leq (dBA)	80.1	62.5	59.8

Como puede observarse, el nivel en el punto de medida era muy alto y, por tanto, fue necesaria la instalación de una pantalla acústica. Para el cálculo de la misma, se introdujeron tanto los datos de la estación en 3 dimensiones como los resultados de la toma de niveles que caracterizaban cada una de las fuentes (en este caso, el principal problema provenía del túnel de lavado automático). El software simuló en un primer caso la situación inicial, comparándose en todo momento con que correspondiese con la toma de niveles efectuada al principio del estudio. Para obtener el nivel adecuado en la fachada del edificio (reglado por la legislación vigente en Andalucía: Decreto 326/2003, de 25 de Noviembre, por el que se aprueba el reglamento de Protección contra la Contaminación Acústica en Andalucía), el software ha

calculado una altura de 5 m de pantalla (los datos de absorción y aislamiento introducidos para la simulación de la pantalla acústica corresponden a las pantallas de Aistec Aislamientos S.L.). Los resultados que se obtienen en base a esa simulación para el punto concreto de estudio están indicados en la tabla. Para comprobar dichos resultados se hizo una medida posterior, tras la ejecución de la obra, cuyo valor es 2.7 dB inferior al obtenido en la simulación. Teniendo en cuenta que el margen de error del programa de simulación es de ± 3 dB, la predicción está dentro de los márgenes previstos, de hecho da mejores resultados a los esperados. Dichas predicciones nos ayudan, por tanto, a optimizar la altura de las pantallas, el posicionamiento de las mismas en función de donde se encuentren las fuentes de ruido, y así, predecir los resultados antes de la ejecución de la obra.

¿Cómo actúa la pantalla? Coeficientes de absorción sonora e índice de reducción acústica

Para que la superficie de un material absorba energía acústica, será necesario tener en cuenta dos factores:

- a) que la superficie del material sea relativamente transparente al sonido.
- b) que el medio sea capaz de transformar más o menos completamente la energía vibratoria de las ondas en energía calorífica de fricción.

Las pérdidas de energía acústica en los materiales se pueden caracterizar mediante el coeficiente de absorción acústica a , entendiendo por tal a la relación entre la energía acústica absorbida por un material y la energía acústica incidente sobre dicho material, por unidad de superficie y que puede variar desde un 1 o 2 % al 100%, para diferentes materiales, en el primer caso la reflexión es total y en el segundo lo es la absorción.

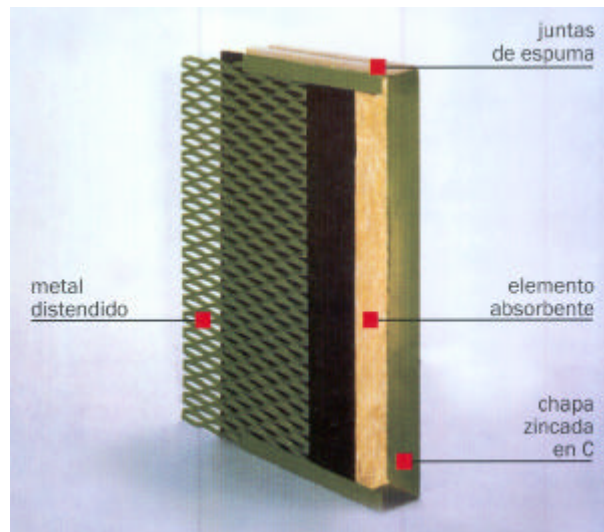


Fig. 12 Pantalla acústica Aistec Aislamientos S.L

El coeficiente de absorción acústica de un material depende de la naturaleza del mismo, de la frecuencia de la onda y del ángulo con el que la onda incide sobre la superficie.

Un elemento que interviene en la absorción acústica, principalmente en el campo de las bajas frecuencias, es el espesor del volumen de aire existente entre la cara del material y la superficie rígida que lo soporta.

El coeficiente de absorción de cualquier material varía considerablemente con el ángulo de incidencia de las ondas sonoras. En el caso de pantallas acústicas en carretera, el estudio de la proyección de la onda es relativamente sencillo, dado que la fuente de ruido principal es el contacto del rodamiento de los vehículos con la carretera. Sin embargo, en instalaciones industriales, es necesario realizar un estudio más detallado.

Se define coeficiente difuso de absorción acústica a_d a la relación entre la energía sonora absorbida por una superficie uniforme, y la energía que incide uniformemente sobre dicha superficie.

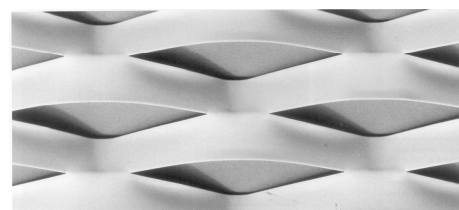


Fig.13 Metal distendido

ESTÉTICA Y POSIBILIDAD DE INTEGRACIÓN PAISAJÍSTICA

Uno de los aspectos más importantes para el cliente que quiere instalar una pantalla acústica bien en una carretera, bien en una instalación industrial, es la estética de dicha pantalla. Es por ello que, además de comprobar que cumpla con las características técnicas mínimas que exige la legislación actual y la correcta funcionalidad de la pantalla acorde con los parámetros que se diseñaron en proyecto para cada caso particular, hay que intentar conseguir una integración paisajística en el entorno donde va a ser instalada. Por ello, en el diseño de la pantalla, se tienen en cuenta una serie de cálculos mínimos (tanto de estructuras, soportes, cálculos de absorciones, etc.) para que la pantalla cumpla acústica y constructivamente, y, por otro lado, se tiene en cuenta, el material del cual se construye el armazón que recubre la pantalla.



Fig.14 Pantallas metálicas absorbentes



Fig.15 Pantallas mixtas (hormigón+metálica absorbente+acrílica reflectante)



Fig.16 Pantalla acrílica reflectante



Fig.17 Pantalla absorbente de madera

OBRA CIVIL

Otro aspecto muy importante a tener en cuenta en la instalación de pantallas acústicas, es la forma en que se ejecuta la obra. No se conseguirán buenos resultados si, aun utilizando materiales con muy buenas condiciones acústicas, no se realizan todos y cada uno de los pasos necesarios para la correcta instalación de las pantallas: estudio topográfico, cimentación, colocación-nivelación de perfiles, instalación de pantallas y colocación de juntas, angulares, etc.

La fase de topografía solo se realiza en los casos de instalación de pantallas en carreteras y en vías férreas o en instalaciones industriales que tengan grandes discontinuidades en el terreno. Tras el análisis de los resultados, se obtendrá una primera aproximación de la distribución de las pantallas sobre el terreno y del dibujo final. Esta fase sirve para que el cliente escoja, a priori, tanto la estética que va a tener la pantalla (en cuanto a colores se refiere) como el escalonado final de la misma.

El siguiente paso será el replanteo de las zapatas. A partir del estudio topográfico previo y del planning de obra se realiza una señalización de en qué lugares exactos va la perforación para cada uno de los pilares. Existen distintos tipos de cimentaciones dependientes de cada caso en particular:

Perforación por pilotes
Zapata cuadrada
Zapata cilíndrica
Anclaje con pernos

Para cada una de estas cimentaciones, se deberá tener en cuenta la profundidad de las zapatas, los diámetros de las mismas, el tipo de hormigón que se va a utilizar, el tipo de terreno que se tiene, etc.

La elección de las vigas que van a soportar la pantalla, viene dada por la altura de la misma, el tipo de terreno sobre el que se instale, el peso de los elementos, etc. Todo ello (tanto el tipo de cimentación, como el tipo de perfil) debe ser justificado mediante cálculos estructurales para cada uno de los proyectos.

Otro paso importante es la correcta nivelación de los perfiles antes del hormigonado de las zapatas, ya que, si no se realiza correctamente, la instalación de la pantalla será complicada, ya que habrá que ajustar, haciendo fuerza mediante grúas, el perfil al ángulo correcto para que encaje la misma.

La colocación de pantallas se realiza por encaje y deslizamiento sobre los perfiles ya nivelados, teniendo en cuenta el que los encuentros de cada una de las pantallas han de estar separados por juntas comprimidas para evitar escapes acústicos.

Por último se procede al ajuste de angulares en caso de ser pantalla acrílica, inclusión de juntas de neopreno para fijar a los perfiles, revisión final de toda la instalación y limpieza de la zona.

PROBLEMÁTICAS ENCONTRADAS EN BASE A LA EXPERIENCIA

Accesos al lugar del montaje

Uno de los primeros problemas que suelen darse en este tipo de instalaciones es la dificultad en cuanto a la accesibilidad a la obra. Existen casos en los que las pantallas tienen que ir en el interior de las urbanizaciones (en jardinerías normalmente, debido a que no se tienen los permisos para la construcción de pantallas a pie de carretera), o en azoteas (donde se encuentra la maquinaria que emite el ruido), sobre puentes, etc. Para cada caso será necesario estudiar, no solo el anclaje de la pantalla y su efectividad acústica, sino también los movimientos de tierra necesarios, la maquinaria y la señalización que será necesaria para el acceso al lugar.



Fig. 18 La pantalla iría en el interior de la jardinera



Fig. 19. La pantalla iría situada en azotea

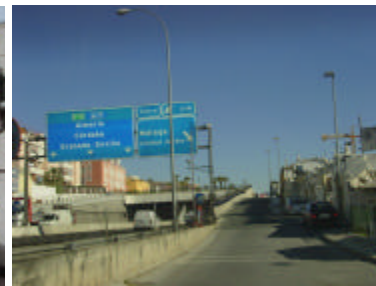


Fig. 20. La pantalla iría situada sobre muro

TIPOS DE MAQUINARIA NECESARIA

Entre la maquinaria necesaria para ejecutar una obra de instalación de pantallas acústicas se encuentran entre las más usadas: minicargadora, manipuladora telescópica, camión pluma, grúa, camión bombeo mixto, camión bombeo estático, camión bombeo pluma 42 m, martillo hormigón, bobcat, etc.



Figs.21-25 Maquinaria utilizada comúnmente para instalación de pantallas acústicas en carretera.

TIPOS DE TERRENO

Otro detalle a tener en cuenta es el tipo de terreno sobre el que hay que trabajar. Existen terrenos rocosos, arenosos, arcillosos, etc. y para cada uno de ellos se realizará un tipo de perforación, acorde siempre con la altura y el tipo de pantalla a instalar, con una maquinaria determinada.



Figs.26-28 Ejemplos de perforaciones hechas en distintos tipos de terreno

INSTALACIONES A SALVAR (CABLEADO, ALUMBRADO, CANALIZACIONES, SEÑALIZACIONES, ETC.)

De la misma forma que se estudian, calculan y prevén las cimentaciones, ha de hacerse lo propio con todos los servicios afectados en una obra: canalizaciones, alcantarillado, señalización, biondas, alumbrado, etc. La mayor parte debe estar previsto de antemano, antes de la ejecución de la obra, con el fin de no sufrir retrasos en la planificación inicial.

Queda por destacar uno de los principales problemas existentes en la red de carreteras españolas: los cables pertenecientes al alumbrado, fibra óptica, etc. Actualmente este dato no se contempla en los proyectos, siendo de suma importancia, debido a que, desde hace muchos años, en las carreteras no se canalizan dichos conductos, y por tanto se encuentran desperdigados y desordenados bajo tierra. El problema existe en la ejecución de la obra, cuando se realizan las perforaciones y existe una rotura de dichos servicios, debido a la poca precisión de las máquinas pesadas y al desconocimiento del instalador de la existencia de dichos cables en la zona donde tiene que perforar. La solución es complicada, no existe manera alguna de conocer este dato a no ser que, previamente a la elaboración de proyecto,

se realice un testeo "in situ" del terreno donde va la pantalla. Normalmente para la instalación de pantallas acústicas en carretera, es necesario realizar una perforación siempre y cuando la pantalla supere los 2 m de altura.



Figs.29-32 Principales servicios afectados

Como conclusión destaco la importancia de una buena planificación de la obra desde la raíz, es decir desde el proyecto, pero no sólo de la parte de obra civil, cálculos, etc., que es lo que hasta ahora se está haciendo, sino también de la efectividad acústica que va a tener esa pantalla en ese lugar en concreto. Por tanto, no solo consiste en estudiar la altura y longitud de la pantalla, sino, los terrenos, las calidades del material, previsiones de los posibles servicios afectados, problemáticas planteables a priori, etc.

Bibliografía

- [1] Redfearn, S.W. "Some acoustical source-observer problems." *Phil. Mag. Ser. 7*(30), pp. 223, (1940)
- [2] Maekawa, Z. "Noise reduction by screens." *Appl. Acoust. Vol.1*, pp. 157-73, (1968)
- [3] Kurze U.J., "Noise reduction by barriers." *J. Acoust. Soc. Am. Vol. 55*, pp.504-18, (1974)
- [4] Attenborough K., Hayek S., Lawter J. "Propagation of sound above a porous half-space." *J. Acoust. Soc. Am. Vol.68*, pp.1493-1501, (1980)
- [5] Chien C. F. Soroka, W. "Sound Vib. Vol.43(1), pp.9-20, (1975)
- [6] Delaney M E., Bazley E.N., "Monopole radiation in the presence of an absorbing plane." *J. Sound Vib. Vol. 13*, pp. 269-79, (1970)
- [7] Embleton T.F., Piercy J. E., Olson N., "Outdoor sound propagation over ground of finite impedance." *J. Acoust. Soc. Am. Vol.59*, pp. 267-77, (1976)
- [8] Scholes W.E., Salvidge A.C., Sargent J.W. "Field performance of a noise barrier", *Journ, of Sound and Vibration*, vol 16, pp. 627-642, (1971).
- [9] Sommerfeld, "Mathematische theorie der diffraction." *Math. Ann. Vol. 47*, pp. 317-74, (1896)
- [10] Keller J.B., "Geometrical theory of diffraction," *J. Opt. Soc. Am. Vol. 52(2)* pp. 116-30, (1961)
- [11] M. Recuero López, "Ingeniería Acústica, "Ed. Paraninfo" (2000)
- [12] A. García Rodríguez Sociedad Española de Acústica, "La Contaminación Acústica, Fuentes, Evaluación, Efectos y Control (2006)