

Protección contra el ruido de la circulación: Diques de tierra

Por Felipe Ruza

Doctor Ingeniero de Montes

Consejero Técnico de la Dirección General de Carreteras.

ES frecuente que no se conceda a los diques de tierra la atención que merecen como elementos protectores contra el ruido. Las pantallas construidas con otros materiales, y sobre todo las más elaboradas de características absorbentes, radas de características absorbentes, les parecen a muchos que por su mayor complejidad y alto grado de elaboración tienen que resultar de una mayor eficacia acústica.

Cada tipo de protección cumple unas funciones y tiene un destino, en el que sus características específicas permiten un mejor acoplamiento y un más alto rendimiento.

Hay dos frentes importantes que deben cubrir los dispositivos de protección contra el ruido de la circulación, que son los relativos a su eficacia acústica y los que afectan a la seguridad de dicha circulación. Otros aspectos, también importantes, son los que conciernen a su armoniosa integración en el entorno y, también, a que cumplan su función de pantalla, es decir de ocultación de algo. Es muy importante que, por lo menos, disimulen la fuente sonora, pues ello produce efectos psicológicos favorables sobre las personas que tienen que soportar el ruido.

Los diques de tierra, cuya utilización se está incrementando mucho últimamente, cumplen mejor que otros dispositivos y de forma más natural esta función de ocultar la visión de la circulación. Pueden y deben ser cubiertos de vegetación, con lo que se integran de forma natural, y con más alto nivel de calidad estética, en el entorno.

Los diques, como todo, tienen ventajas e inconvenientes. Resultan muy interesantes en las zonas en que no existen problemas de espacio y se cuenta con un sobrante de tierras que puede ser utilizado en la construcción del dique, con lo que, por otra parte,

se produce un ahorro al no tener que transportarlas a vertedero.

Como inconvenientes podemos considerar que la construcción es más lenta, que ocupan mayor superficie y que si hay que ampliar la calzada resulta más difícil su traslado. En algunos casos su instalación puede resultar más costosa que las pantallas, debido a la mayor ocupación de suelo y también pueden resultar más caros si se carece de tierras para su construcción.

Los efectos de amortiguación sonora de los diques de tierra situados en los laterales de una calzada, son similares a los que se producen en una carretera en trinchera. Tienen la ventaja de poder ser cubiertos de vegetación, lo cual filtra el polvo levantado por la circulación, reduce la propagación de los contaminantes atmosféricos, reduce los efectos de viento lateral y mejora estéticamente el entorno de la carretera. Las especies vegetales de hoja caediza re-

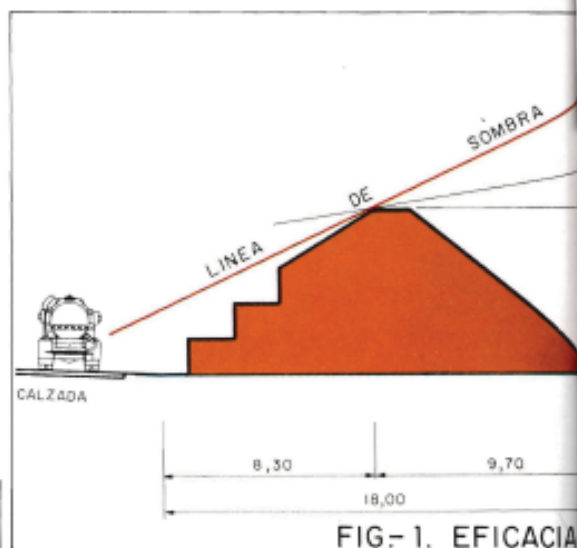


FIG-1. EFICACIA

nuevan cada año este "filtro" con los brotes de primavera.

No suelen sobrepasar los diques los 4 ó 5 m. de altura, por razones de espacio, si bien en la autopista de Frankfurt-Nuremberg se han llegado a construir de alturas superiores a los 8 m.

Los diques, bien dimensionados, resultan tan eficaces acústicamente como cualquiera de los otros tipos de barrera.

Se han realizado muchas comprobaciones para determinar la eficacia de los diques de tierra. En la figura 1 se representan los resultados obtenidos por el Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Francia para un dique de forma compleja, de 6,5 m. de altura. Las cifras representan las amortiguaciones debidas al efec-

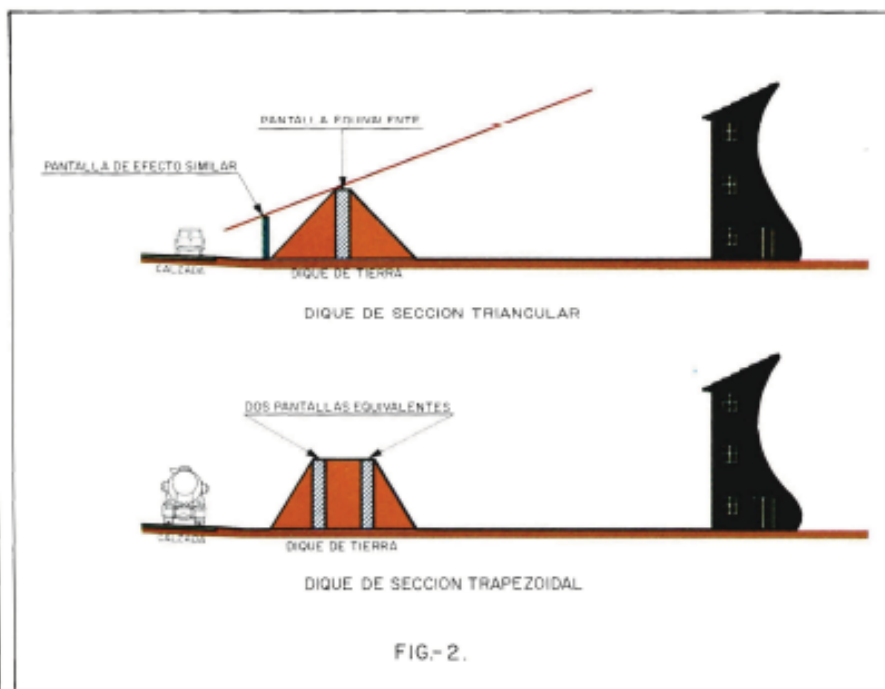
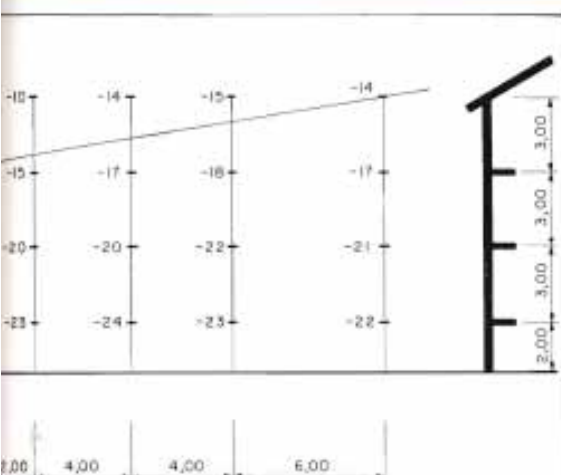


FIG-2.



DIQUE DE TIERRA

to producido por el dique, acumuladas a las producidas en razón de la distancia.

A los efectos de cálculo y dimensionamiento, los diques se asimilan a barreras verticales equivalentes, por lo que procesos de cálculo que se aplican a éstas son también utilizados para los diques. (Fig. 2).

Son tres las fuentes que inciden de forma más directa en la eficacia acústica de un dique: La difracción en su cima, la transmisión del sonido a través del dique y los efectos de reflexión.

Se admite, para los cálculos, que la fuente sonora constituida por los vehículos está concentrada en un foco emisor situado a 0,80 m. sobre el nivel de la calzada y en el eje de ésta. Las ondas así emitidas se transmiten en todas direcciones. Unas llegan directamente al paramento exterior del dique y otras lo hacen por reflexión. Allí unas, son absorbidas, otras transmitidas a través del dique y otras reflejadas. (Fig. 3).

Difracción

Las ondas, directas o reflejadas, que llegan a la cima del dique lo contornean y, por efecto de la difracción, llegan hasta el receptor oculto por el dique, después de haber perdido gran parte de su energía sonora. Es como si se hubiera producido una nueva fuente sonora en lo alto del dique, menos potente que la originaria.

Esta pérdida de energía produce una modificación del campo acústico existente detrás del dique, estableciéndose una zona de "sombra" en la que la presión sonora es menor.

“Los diques de tierra cumplen mejor que otros dispositivos y de forma más natural la función de ocultar la visión de la circulación.”

Para que el dique sea acústicamente eficaz, la zona de sombra debe ser lo mayor posible y no debe resultar afectada por las ondas sonoras que atraviesan el dique o por las que puedan llegar a ella por reflexión.

La importancia de la difracción, depende de las dimensiones del di-

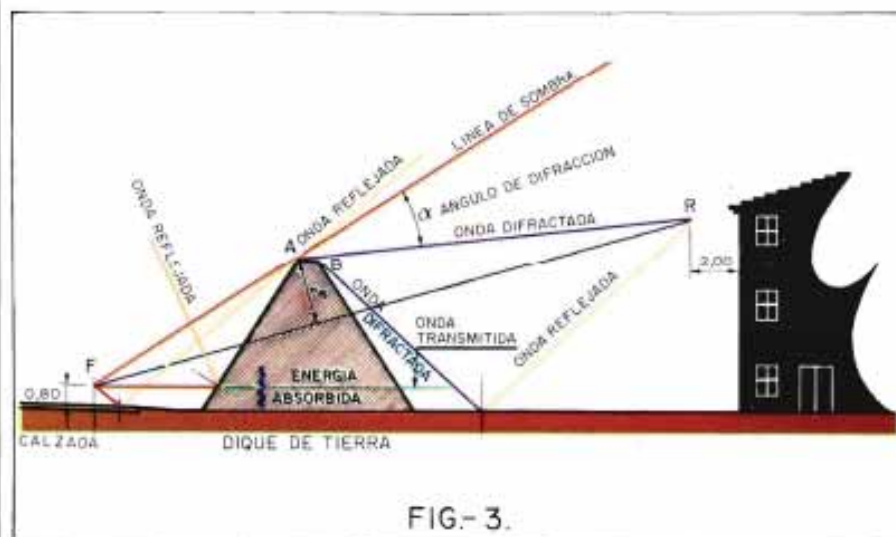


FIG. 3.

que, longitud y altura, y de su situación en relación con la fuente sonora y con la zona a proteger.

La pérdida de energía producida por la difracción expresa el poder de amortiguación del dique y es función del número de Fresnel.

$$N = \frac{2 \delta}{\lambda}$$

En el que λ es la longitud de la onda incidente que, para el caso del ruido producido por la circulación, está comprendida entre 0,50 y 0,60 m. si la distancia a la calzada es inferior a 100 m.; y δ es la diferencia entre los recorridos que tiene que realizar la onda sonora al instalar el dique y el que tendría que realizar si éste no existiese. (Fig. 3).

Es decir:

$$\delta = \overline{FA} + \overline{AB} + \overline{BR} - \overline{FR}$$

Transmisión

Una parte de la energía sonora llega al receptor, oculto por el dique, a través de éste. Por lo tanto los diques, al igual que las pantallas, deben cumplir unas condiciones acústicas mínimas, de forma que la energía sonora que puede atravesarlos resulte sensiblemente menor que la que pueda llegar al receptor por otros conductos. Esta energía transmitida puede considerarse despreciable si resulta por lo menos inferior en 10 dB (A) a las otras aportaciones que se reciben por difracción y reflexión.

El índice de amortiguación (R) relativo a la transmisión del sonido a través del dique debe ser, para el espectro de ruido producido por la circulación, por lo menos de 22 dB (A). Esto lo cumplen prácticamente todos los diques ya que su peso por metro

cuadrado supera los 30 kg (ley de masas).

En algunos casos puede admitirse que este índice sea menor, pero debe exigirse que siempre sea superior en 10 dB (A) a la eficacia acústica real del dique.

Reflexión

Los diques pueden considerarse, hasta cierto punto, según su composición granulométrica y su compactación, como barreras absorbentes. Los sonidos que no absorben son reflejados hacia lo alto debido a la inclinación de los paramentos laterales del dique, lo que evita los posibles problemas que podrían producirse en las viviendas situadas al otro lado de la calzada.

Proceso de dimensionamiento

Altura

Para calcular la altura que debe tener un dique, de forma que se consiga una determinada reducción sonora, se suele asimilar éste a una pantalla vertical equivalente. En este proceso suele utilizarse el ábaco de Maekawa o el que utiliza los parámetros de Redfarm.

El primero es el más utilizado. Relaciona la eficacia de la pantalla con el número de Fresnel. Este ábaco ha sido puesto a punto de forma experimental. Está muy difundido porque se ha comprobado que ofrece una precisión experimental y fiabilidad suficientes para el ruido producido por la circulación. (Fig 4.).

Longitud

Los ábacos indicados para el cálculo de la altura del dique proporcionan valores que se basan en la consideración de una difracción pura, ya que consideran el elemento de protección con una longitud infinita.

Pero esto no sucede en la realidad. Los diques tienen una longitud limitada, por lo que se produce también difracción en sus bordes laterales. La energía que se difracta en los laterales es despreciable para el caso de fuentes sonoras puntuales, pero para las fuentes lineales, como son las vías de gran circulación, puede llegar a ser importantes.

También por los laterales pasan ondas sonoras sin encontrar obstáculos, y llegan directamente al receptor (Fig. 5). Por ello es importante dimensionar adecuadamente la longitud del dique, de forma que la energía sonora que recibe el receptor directamente por los laterales no resulte superior a la que pueda recibir por difracción.

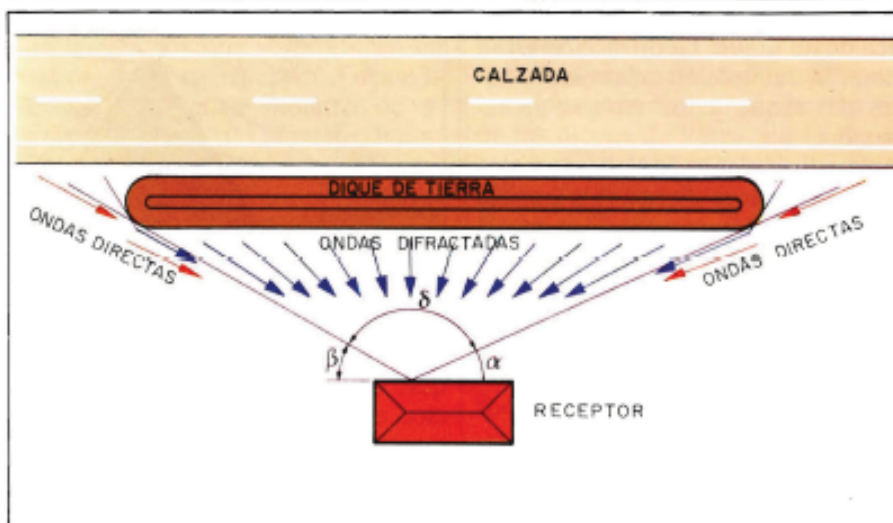
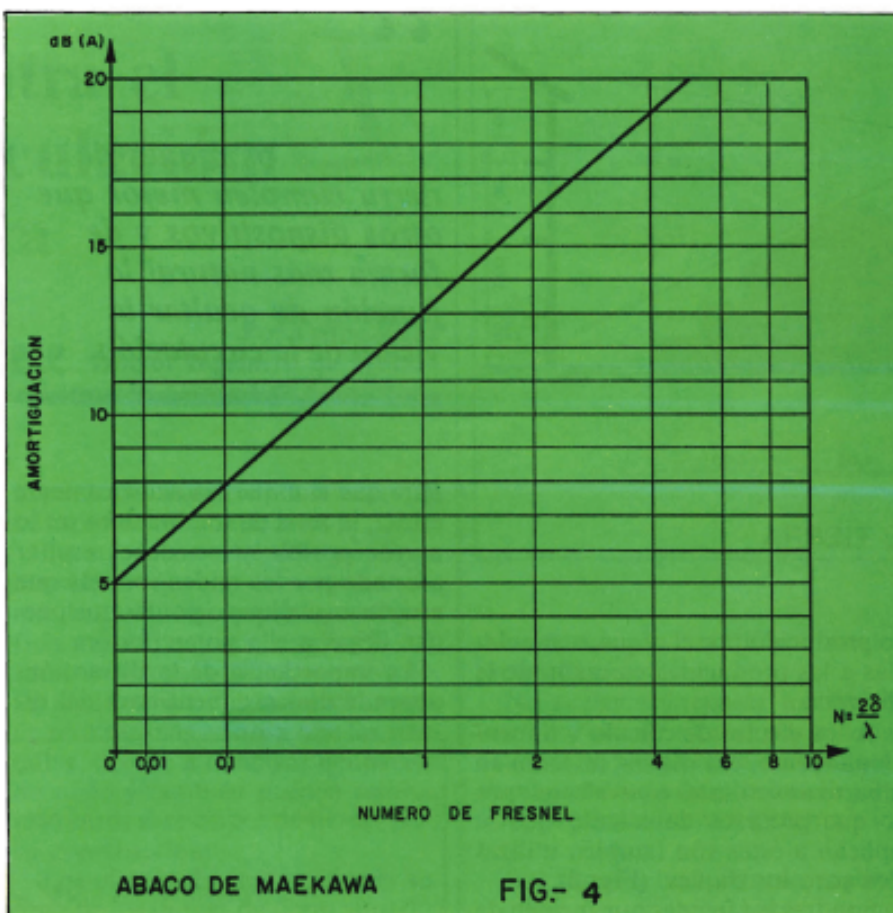
El nivel sonoro correspondiente a la energía recibida de las zonas de calzada comprendidas bajo los ángulos α y β (Fig. 5), es:

$$L(\alpha + \beta) = L + 10 \log \frac{\alpha + \beta}{180^\circ}$$

Bajo el ángulo θ , el nivel será:

$$L(\theta) = L + 10 \log \frac{\theta}{180^\circ} - \Delta L,$$

siendo ΔL la reducción o amortiguación sonora ocasionada por la difracción. El nivel sonoro total en el



receptor será el resultado de la acumulación de los dos niveles anteriores.

La longitud del dique hay que calcularla, por lo tanto, de forma que la energía que llega directamente no sea superior a la recibida por difracción, teniendo en cuenta para ello la configuración del terreno, posibles obstáculos, vegetación etc. Se han confeccionado ábacos que dan la longitud adicional, a cada lado de la proyección sobre el eje de la calzada de la zona a proteger, para situaciones ideales.

Una forma abreviada de calcular

las longitudes adicionales aproximadas, a ambos lados, la facilita la fórmula:

$$l = 0,4 \Delta L \cdot d$$

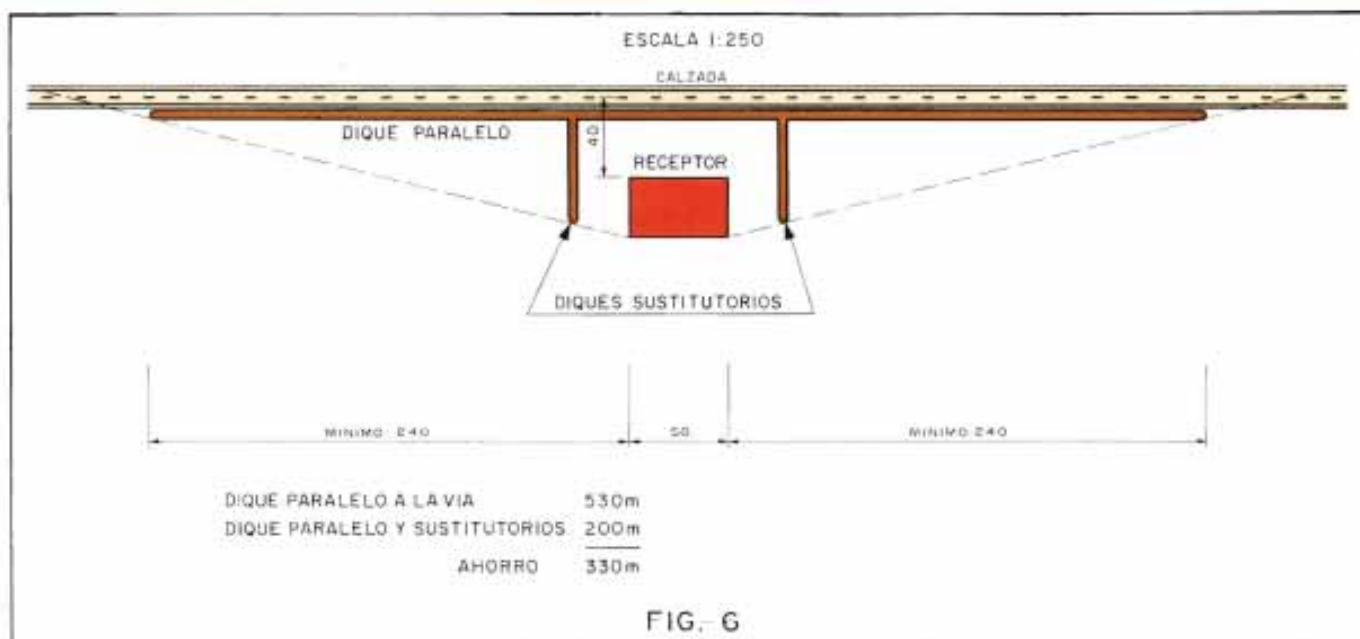
Siendo:

l = Longitud adicional a cada extremo del dique (m)

ΔL = Reducción del nivel sonoro (dB(A))

d = Distancia del receptor al eje de la calzada más próxima (m)

Con ello resultan, frecuentemente, tramos de dique excesivamente largos si se trata de proteger edificios aisla-



dos, pues en los agrupados se solapan las longitudes.

Así, si se quiere disminuir en 15 dB (A) el nivel sonoro en fachada de un edificio o grupo de ellos, de 50 m. de longitud, situado a 40 m. del eje de la calzada, la longitud del dique sería:

$$l_T = 2l + 50 = (0,4 \cdot 15 \cdot 40) + 50 = 530 \text{ m.}$$

En estas situaciones de edificios aislados, se puede sustituir el dique longitudinal por un envolvente del edificio con dos tramos perpendiculares a la calzada (Fig. 6). Con ello se consigue una defensa eficaz y una reducción importante de la longitud del elemento protector.

Para llevar a cabo este planteamiento es preciso disponer del espacio necesario. La altura de los tramos perpendiculares a la calzada, debe ser, cuando menos, la misma que la que corresponde al tramo paralelo, aunque debería ser más elevada puesto que se sitúan más alejados de la calzada.

En el ejemplo anterior, representado en la figura 6, la longitud del dique quedaría reducida a unos 200 m. lo que significa un ahorro de 330 m. de dique. Este ahorro depende del espacio que desee dejar libre alrededor del edificio. En el caso del ejemplo, se dejó en los laterales el mismo espacio que el existente al frente del edificio.

Interrupciones

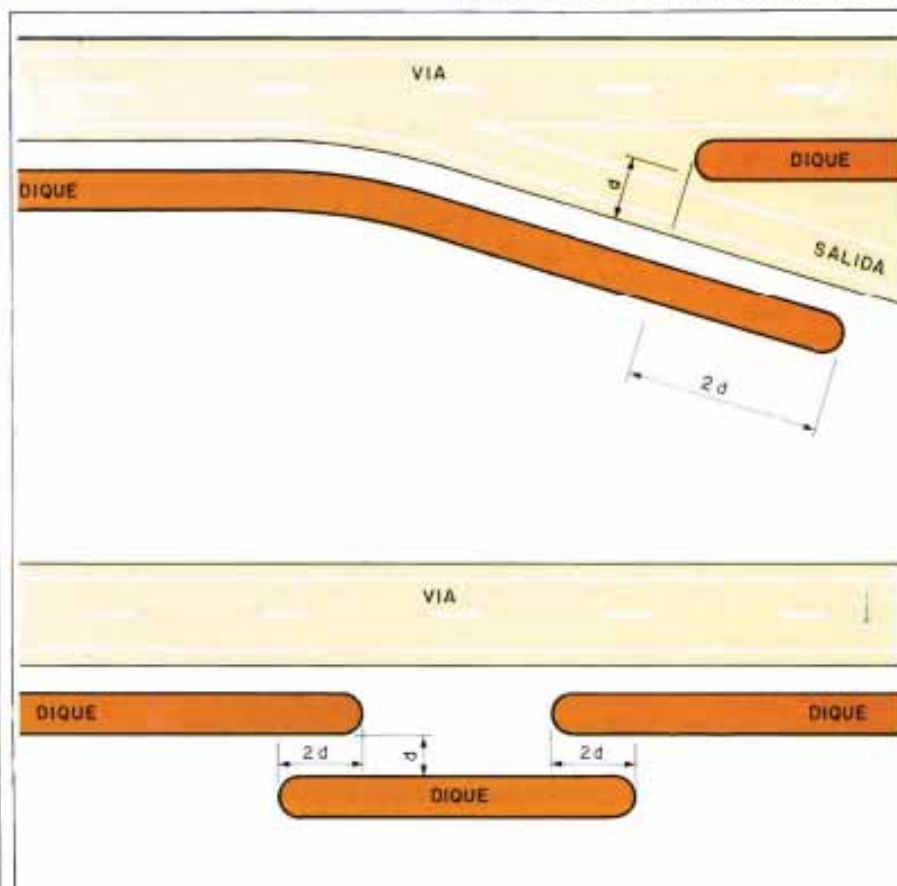
En los casos en que el dique tenga que ser interrumpido para dejar una

“La longitud del dique hay que calcularla de forma que la energía que llega directamente no sea superior a la recibida por difracción.”

salida a otra vía, o por cualquier otra necesidad como puede ser el paso a los equipos de mantenimiento (aunque para este supuesto podría preverse la instalación de puertas), el dique debe solaparse de forma que el ruido no penetre por el hueco dejado. La longitud de solape debe ser, por lo menos, doble que la separación entre los dos tramos del dique (Fig. 7).

Estabilidad

Desde el punto de vista de la estabilidad, los diques presentan los mis-



“Desde el punto de vista de su integración en el entorno, los diques de tierra cubiertos de vegetación consiguen efectos mucho más aceptables que otros sistemas de amortiguación del ruido.”

mos problemas que otras obras similares de tierra.

Todos los tipos de suelos pueden ser utilizados en la construcción de diques, salvo aquellos que, por su composición química, pudieran contener sustancias o elementos contaminantes de las aguas. Lo práctico es utilizar excedentes de tierra.

No obstante, para alcanzar la altura que exija la eficacia acústica del dique, sobre todo si es elevada, es preciso:

- Disponer de tierras de calidad adecuada, ya que ello condiciona las pendientes del talud.

- Disponer de la suficiente superficie para su instalación.

El dique puede ser simétrico en sus taludes, o lo que es más frecuente, disponer de pendientes más suaves del lado de los edificios.

El núcleo del dique puede estar constituido por materiales de relleno. En la base de asentamiento debe ser retirada la tierra vegetal y aquella otra que, por sus características, no garantice una buena superficie de apoyo. Este núcleo debe recubrirse de una tierra de mejor calidad, en un espesor comprendido entre 0,50 y 1,00. Sobre ella se dispondrá ya la tierra vegetal, en una capa de 0,20 a 0,50 m. según se disponga de este material y en función del tipo de vegetación que se pretenda introducir.

A parte de las consideraciones de seguridad, que inducirán a utilizar determinadas pendientes, los taludes deben ser, en general, dotados de la pendiente máxima que permita la calidad de las tierras utilizadas, tratando de ahorrar espacio. Pueden considerarse como taludes aceptables los de pendiente 2/3.

En las áreas de clima lluvioso, deberán establecerse sistemas que per-

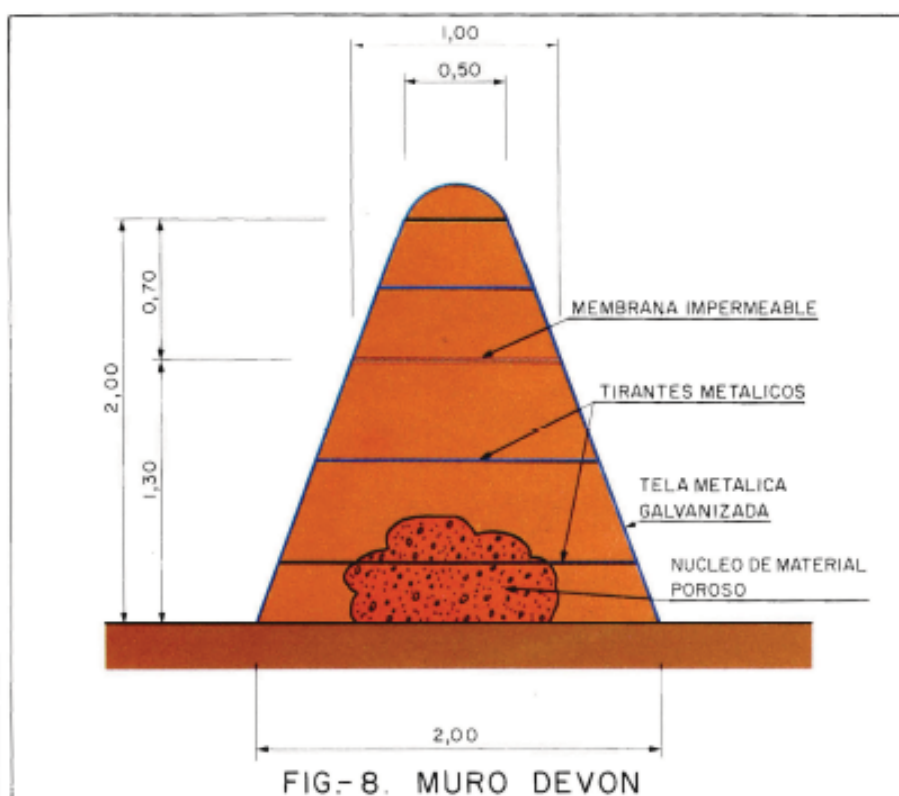


FIG-8. MURO DEVON

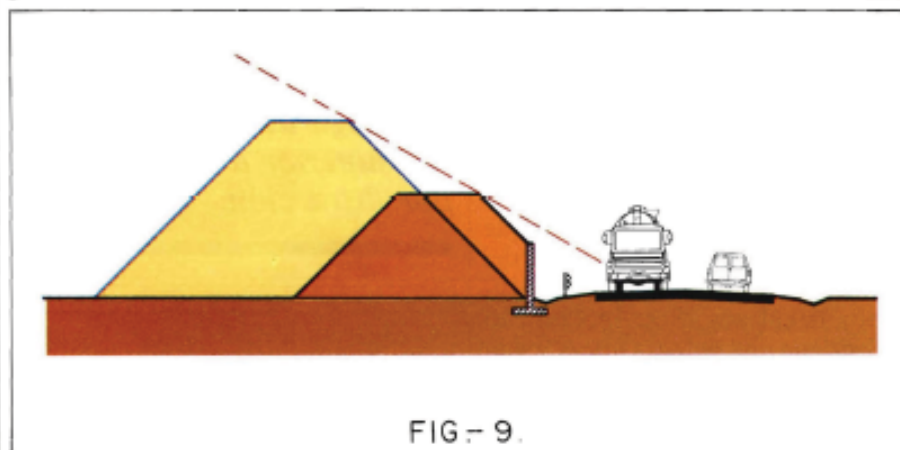


FIG-9.

mitan drenar las aguas que puedan afectar la estabilidad del dique.

La parte superior o cima, debe suavizarse o aplanarse. Si lo permiten sus dimensiones podrían instalarse en ella sendas peatonales o pistas ciclistas.

Ubicación de los diques

Teniendo en cuenta que los taludes se constituyen con pendientes suaves, las cimas de los diques resultan siempre más alejadas de la calzada que lo que estaría una pantalla menos voluminosa.

Por razones de eficacia acústica se tiende a situar el dique lo más próximo que se pueda a la calzada; consideraciones sobre la seguridad de la circulación aconsejarán alejarlo.

La solución estará en encontrar el

punto de equilibrio entre estas dos demandas.

Al talud del lado de la calzada, por eficacia acústica y por una menor ocupación de suelo, debería concedérsele la mayor pendiente posible. No obstante, por razones de seguridad, así como de estabilidad del propio talud, se suelen establecer pendientes más suaves.

Esto obliga a ocupar superficies de suelo importantes, lo que encarece la obra. Por ello se han buscado sistemas que permitan establecer taludes más pendientes, sujetando las tierras con mallas metálicas dotadas de tirantes que impiden su deformación.

Existen muchas patentes de emparillados para sujetar los taludes. Tal vez el más conocido sea el muro DEVON, de origen inglés, que permite realizar diques de una altura igual a la anchura de su base. En este muro

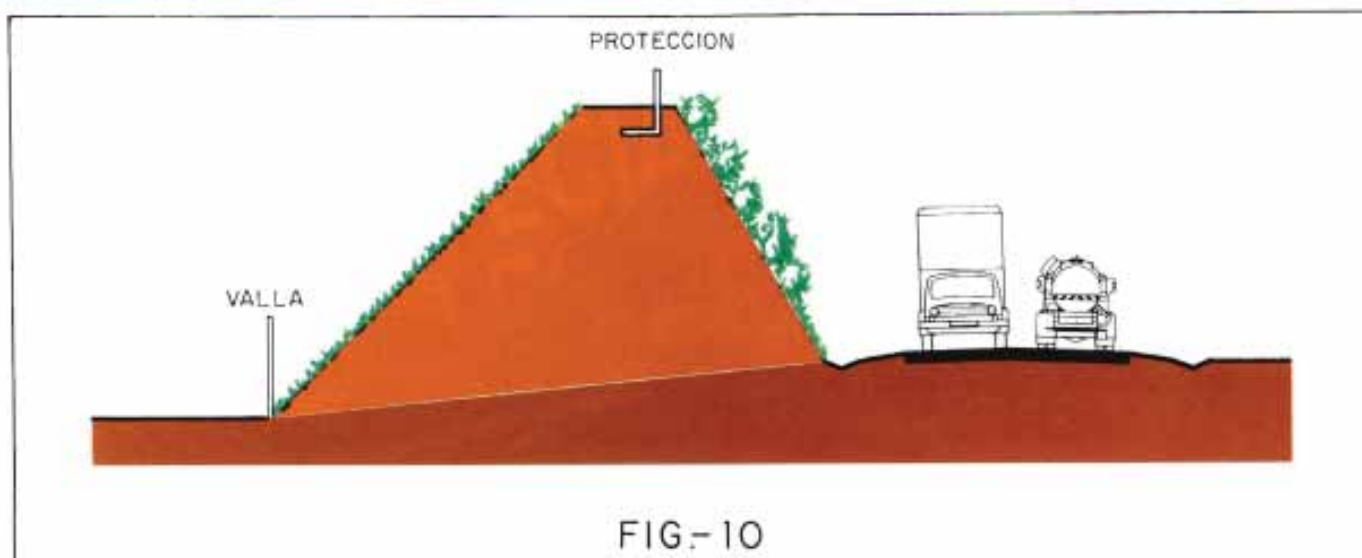


FIG.- 10

puede ser implantado tapiz herbáceo, para lo que hace falta recubrirlo de mantillo (Fig. 8).

El algunas ocasiones se han utilizado también gaviones, de formas más o menos regulares, para disminuir las dimensiones de los diques.

Otro sistema utilizado para disminuir el espacio ocupado por el dique, consiste en combinar talud natural y muro de contención, lo que permite acercar el eje del dique de la calzada y disminuir su altura, para una eficacia acústica similar. (Fig. 9).

Pero en todos los casos como queda dicho, la situación del dique con relación a la calzada debe ser establecida en función de las condiciones de seguridad y estabilidad, y de las de amortiguación acústica.

Desde el punto de vista de su integración en el entorno, los diques de tierra cubiertos de vegetación consiguen efectos mucho más aceptables que otros sistemas de amortiguación del ruido. Las especies utilizadas deben variarse en el espacio al objeto

de alternar la composición externa y hacer más ameno el viaje a los usuarios de la vía.

Seguridad

Los diques situados en proximidad a la calzada de las vías de circulación, implican algún riesgo para ésta, aunque generalmente menor que el que representan para el usuario de la vía otros tipos de barreras contra el ruido. En ambos casos, pueden agravarse las consecuencias de una salida accidental de la calzada. También pueden producirse accidentes por golpes de viento al finalizar bruscamente la zona protegida, por lo que conviene reducir la altura progresivamente.

Con taludes de pendiente adecuada, el dique resulta menos peligroso para los usuarios de la vía que cualquier otro procedimiento de protección contra el ruido y, por supuesto, mucho menos que las pantallas rígidas. Pero igual que para éstas, donde se contruyan muy próximas a la

calzada y con taludes muy pendientes, será preciso instalar también barreras de seguridad.

Los diques de gran tamaño pueden ser lugar de paseo, bien porque se haya establecido alguna senda peatonal o bien porque sus características lo permitan. También pueden cumplir la función de espacio de juego para niños y en general pueden resultar fácilmente franqueables para los peatones, lo que representa un grave riesgo de accidente. Por ello se recomienda que, cuando esto pueda suceder, se prevea algún sistema de separación o cierre (vallado), bien poniéndolo en la cima del dique, o bien en su límite más alejado de la calzada. (Fig. 10).

En las plantaciones que se efectúen en el talud que da a la calzada, las especies utilizadas deben ser elegidas entre aquéllas que no puedan alcanzar una talla que reporte peligro para el automovilista, en el caso de que, accidentalmente, se salga de la vía. En la figura 11 se representa un ejem-

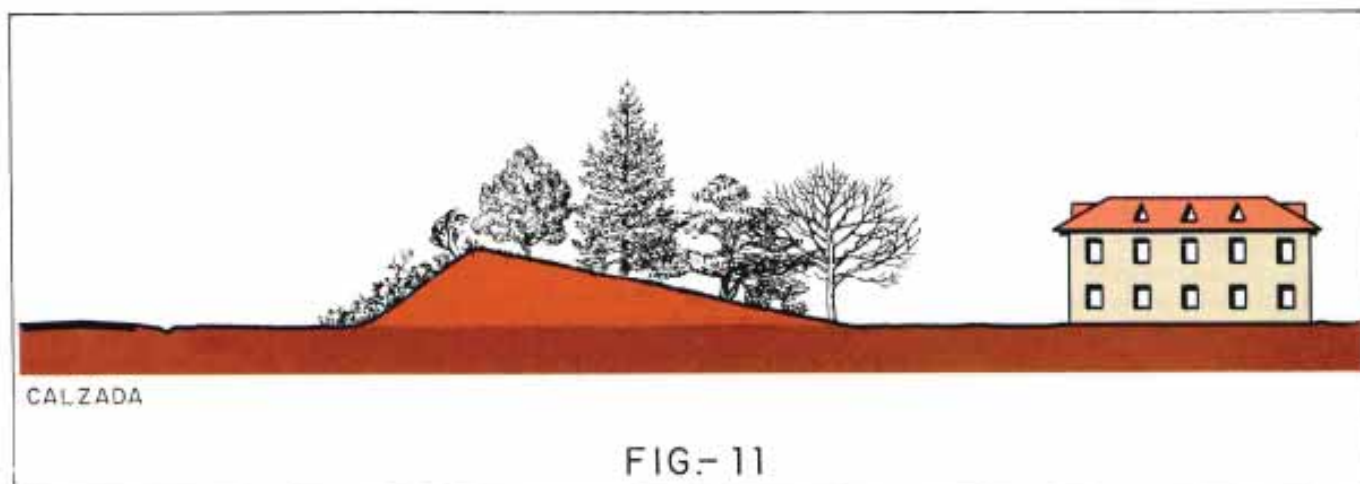


FIG.- 11

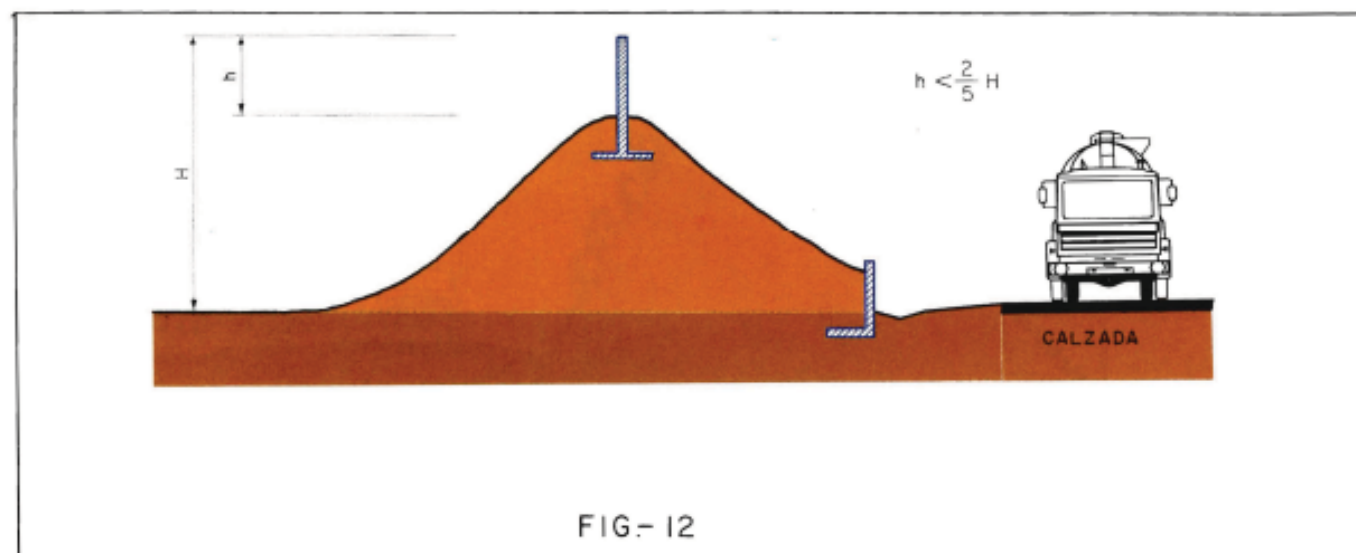


FIG. 12

plo en el que la abundancia de espacio permite una composición armónica del conjunto.

Sistemas combinados

Si no se desea instalar una pantalla de altura excesiva, y las características del lugar no aconsejan la colocación de un dique de tierra, pueden combinarse los dos sistemas, instalando un dique y una pantalla en su coronación. (Fig. 12).

Evidentemente, la altura del conjunto debe ser la obtenida por los cálculos de amortiguación sonora, siguiendo las reglas establecidas para el dimensionamiento de las barreras contra el ruido.

Como ventajas de este sistema mixto se puede indicar que disminuye la necesidad de suelo, al ser menor la altura del dique; se evitan, en gran parte, los problemas de reflexión; y se mejoran las condiciones estéticas consiguiendo una integración más natural en el entorno, similar a la que se consigue con los diques solos.

Como inconvenientes tenemos que destacar las posibles dificultades que se puedan encontrar al asentar los cimientos de la pantalla en lo alto del dique.

Aun disimulando el dique y la pantalla con plantaciones vegetales, por razones de composición estética, la pantalla no debe sobrepasar al dique en una altura superior al 40 por ciento de la total.

Otros sistemas mixtos que se ven con frecuencia instalados en las carreteras europeas, son diques "contenidos" mediante elementos prefa-

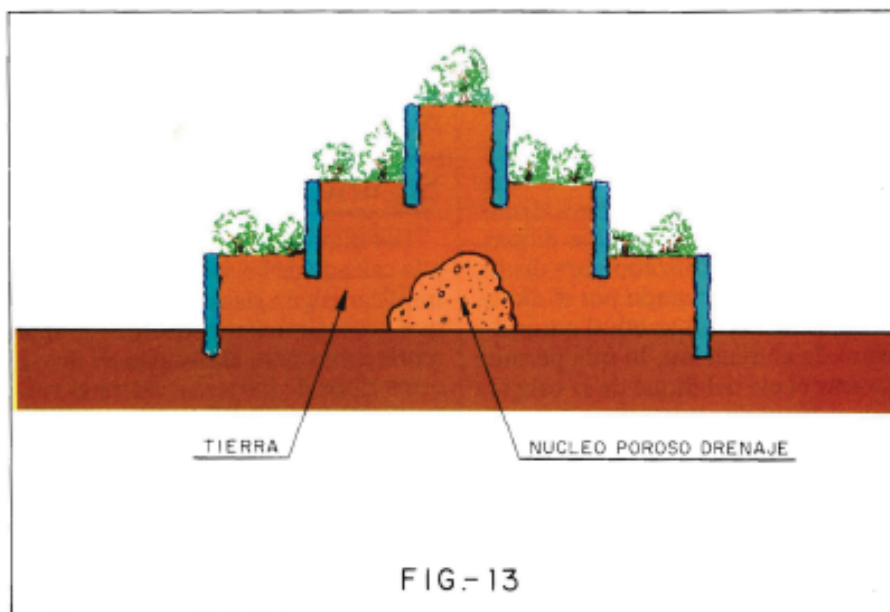


FIG. 13

“Como ventajas de este sistema mixto se puede indicar que disminuye la necesidad de suelo; al ser menor la altura del dique; se evitan, en gran parte, los problemas de reflexión; y se mejoran las condiciones estéticas consiguiendo una integración más natural en el entorno, similar a la que se consigue con los diques solos.”

bricados de hormigón (Fig. 13). Las características de estos prefabricados son muy diversas, pero tienen común los espacios de tierra que dejan libres, en los que se implanta la vegetación.

Cuanto menor es la cantidad de tierra de que disponen las plantas, mayores cuidados exigen en cuanto a abonado y riego, ya que la capacidad de almacenar nutrientes y agua es también menor. Por otra parte el suelo está sujeto a un mayor calentamiento, lo que acelera su proceso de desecación. Por ello es frecuente ver instalados en estos diques, incluso en países de mayor pluviosidad que el nuestro, dispositivos de riego por goteo. El coste de mantenimiento de estos sistemas resulta, por lo tanto, más elevado.