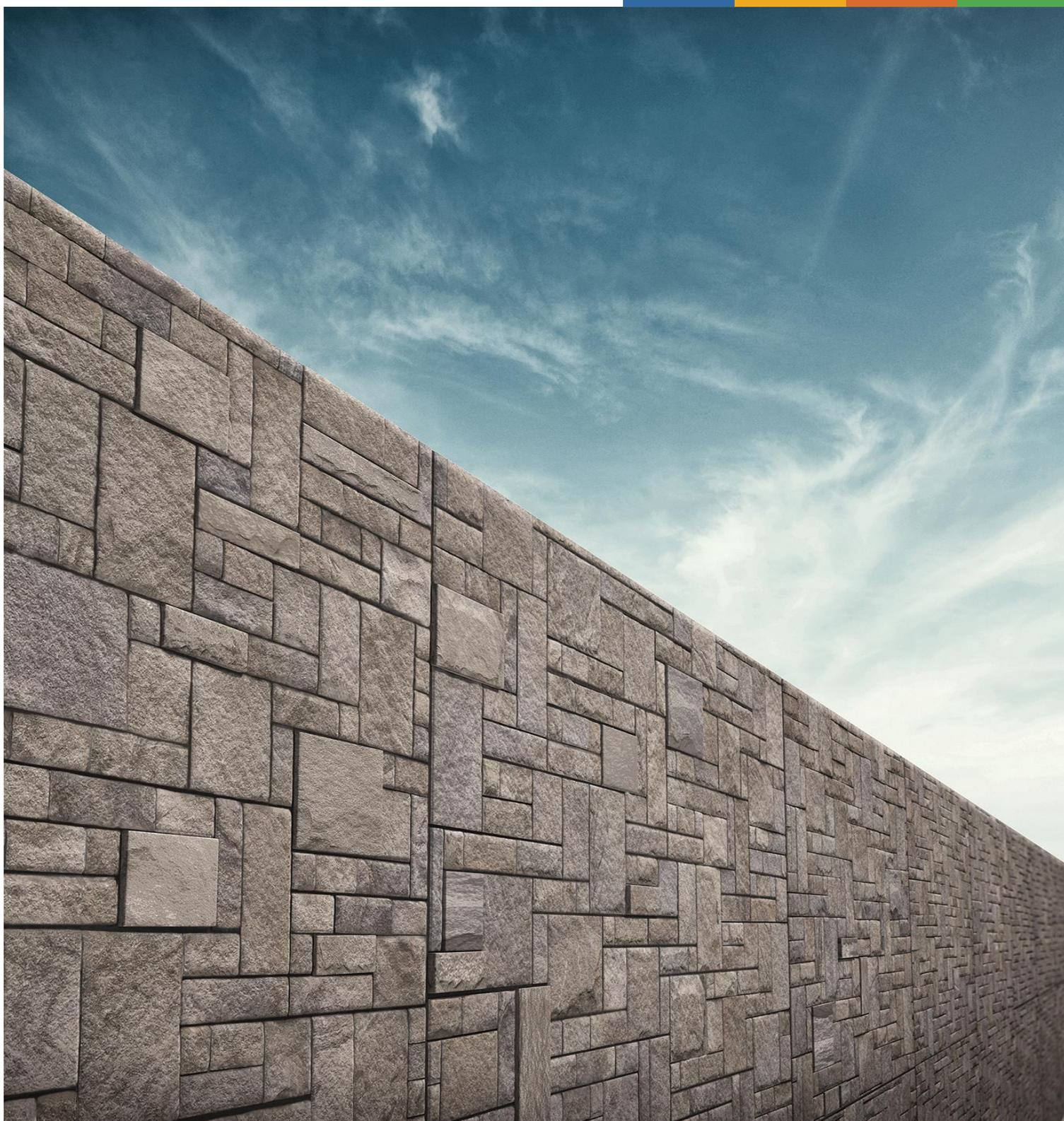




75° Aniversario
1940 - 2015



Barreras sónicas de hormigón



ÍNDICE

1	Introducción	4
1.1	Campo de aplicación	4
1.2	Ventajas del hormigón como material constructivo.....	4
2	Tipologías de barreras sónicas	5
2.1	Reflectivas.....	5
2.2	Absorbentes	5
2.3	Reactivas	6
3	Tipologías constructivas	6
3.1	Elementos placa de hormigón, prefabricados o ejecutados in situ	6
3.2	Paramentos de mampostería de hormigón.....	9
3.3	Muros en combinación con vegetación	11
4	Condiciones de diseño de las barreras	11
4.1	Generalidades	12
4.2	Sostenibilidad	18
4.3	Previsiones frente al impacto vehicular	19
5	diseño estructural	20
5.1	Carga de viento.....	20
5.2	Carga de impacto.....	20
5.3	Otras cargas de diseño	21
6	Fundaciones	21
6.1	Tipos de fundaciones	21
6.2	Drenajes.....	22
7	Características y requisitos generales	22
7.1	Hormigón.....	22

7.2	Montaje de paneles prefabricados.....	23
7.3	Recubrimientos de protección.....	23
7.4	Marco Normativo nacional e internacional.....	23
8	Evaluación de las propiedades acústicas.....	24
8.1	Coeficiente de Reducción del Ruido (NRC, por sus siglas en inglés).....	24
8.2	Clase de Transmisión del Sonido (STC, ídem anterior).....	24
9	BIBLIOGRAFÍA.....	27

1 INTRODUCCIÓN

El desarrollo y el avance de la Economía conllevan un incremento en las actividades humanas, tales como la industria y el transporte. Éstas son, quizás, las principales generadoras del ruido que se percibe en los centros urbanos a lo largo del mundo.

En este contexto, la creación y uso de barreras sónicas se hace fundamental, con el fin de preservar la calidad de vida de los habitantes de los distintos núcleos urbanos. Su empleo permite reducir sustancialmente el nivel de ruido percibido por las personas, al establecer una interposición entre la fuente emisora de ruido y los receptores.

1.1 CAMPO DE APLICACIÓN

Las barreras sónicas son dispositivos empleados para mitigar el impacto en la población que generan los ruidos producidos por las diversas actividades, tales como las asociadas al transporte terrestre (en rutas, autopistas y ferrocarriles) y aéreo (en aeropuertos y sus zonas aledañas). En el primer caso, el campo de aplicación de las barreras sónicas se extiende tanto a los caminos existentes en los que se ha hecho algún tipo de intervención y generado un incremento en el tráfico, así como en las nuevas vías para las que se prevé un nivel de ruido que pueda afectar a las personas situadas en locaciones circundantes.

Si bien en este artículo se trata con mayor énfasis las aplicaciones de las barreras sónicas en proximidad a carreteras y vías de ferrocarril, ellas pueden también utilizarse en áreas industriales próximas a centros poblacionales, cuando las mediciones acústicas en un sitio demuestren que los niveles de ruido generado afectan significativamente la calidad de vida de la población.

1.2 VENTAJAS DEL HORMIGÓN COMO MATERIAL CONSTRUCTIVO

En muchos países, a la hora de encarar un proyecto de aislación acústica, se prefiere emplear a las

barreras sónicas fabricadas en hormigón por sus ventajas distintivas respecto a otras soluciones. A continuación se presentan algunas de las características más salientes.

- > **Flexibilidad y versatilidad** para la creación de nuevos diseños, formas, texturas y colores, mediante el uso de materiales disponibles localmente
- > La **resistencia del hormigón** aumenta gradualmente con su edad y sus propiedades no se deterioran al estar expuesto a la intemperie.
- > **Durabilidad** frente a diferentes condiciones de exposición y grados de ataque, durante períodos de más de 50 años.
- > Las barreras sónicas de hormigón **reducen el nivel de sonido** al interponerse en la línea de propagación. El sonido no desaparece completamente, aunque se ve drásticamente reducido, debido al incremento de la distancia que tiene que recorrer la onda sonora.
- > El hormigón es un **material no tóxico ni contaminante**, elaborado a partir de materiales naturales, o incluso, reciclados, de disponibilidad local o muy cercana al sitio de la obra.
- > Este material permite brindar distintas soluciones diversas y versátiles en lo que respecta a la **terminación superficial** de la barrera, obteniéndose productos que se adaptan fácilmente a las condiciones del entorno.
- > Presentan un **muy bajo costo de mantenimiento** a lo largo de una prolongada vida útil.
- > Pueden ser utilizadas como **barreras de seguridad en puentes** si se realizan ciertas adaptaciones, y pueden instalarse en coincidencia con los parapetos de puentes.
- > Son **resistentes a la carga de fuego y al vandalismo**
- > Son **durables frente a acciones** biológicas de insectos y la putrefacción.

> Las barreras sónicas de hormigón **no presentan fenómenos de alabeo**.

> Existen **numerosos antecedentes** de aplicación de este tipo de barreras sónicas a nivel internacional, en aplicaciones en múltiples casos

2 TIPOLOGÍAS DE BARRERAS SÓNICAS

Las barreras sónicas pueden agruparse, según su principio de funcionamiento, en 3 categorías, a saber: reflectivas, absorbentes y reactivas (**Ilustración 1**). Los siguientes apartados describen las características de mayor de cada una de estas tipologías.

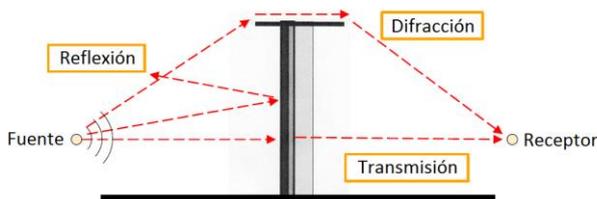


Ilustración 1: Mecanismos de mitigación

2.1 REFLECTIVAS

El principio de funcionamiento de estas barreras consiste en la reflexión de las ondas sonoras, forzándolas a propagarse en retorno hacia la fuente generadora. Ésta es la razón por la que este tipo de barreras pueden ocasionar un significativo aumento en el nivel de ruido del lado de la emisión, aunque ello puede minimizarse propiciando un desvío de las ondas sonoras de manera tal que ellas pasen por encima del ente receptor.

La principal limitación en el desempeño de las barreras sónicas reflectivas es el fenómeno de difracción del ruido que se produce en el extremo superior del elemento interpuesto (**Ilustración 2**). En ciertos casos, es posible realizar algunas

modificaciones en el remate del borde superior para atender esta cuestión.

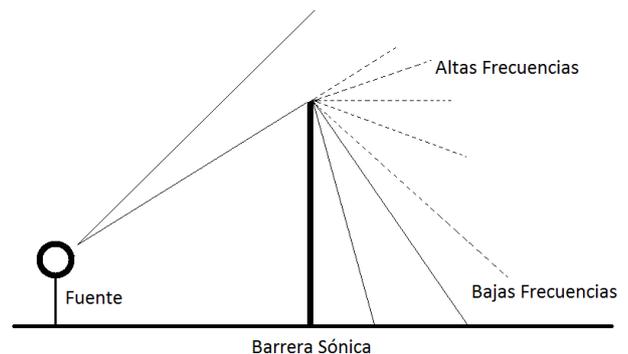


Ilustración 2: Fenómeno de difracción

Existen distintos remates superiores, o coronamientos, a fin de disminuir el efecto de la difracción en este tipo de barreras, siendo los más utilizados los de forma “T”, “Cilíndrica”, “Hongo” y “Asimétrica”. En la figura (**Ilustración 3**) se ejemplifican muestran las distintas formas que puede presentar el remate superior de una barrera sónica reflectiva.

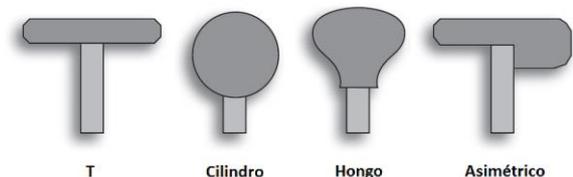


Ilustración 3: Tipos de remates superiores

2.2 ABSORBENTES

Este tipo de barreras se encuentran fabricadas con un material poroso, que permite a las ondas sonoras, generadas por el tráfico u otras fuentes, pasar a través del muro (**Ilustración 5**). Sin embargo, al atravesar el material absorbente o hacer contacto con una superficie texturada, las ondas son forzadas a recorrer un camino mayor hasta el ente receptor, sufriendo sucesivos cambios en su dirección (**Ilustración 4**).

(1) P. Morgan, Developments in standards for concrete barriers.

(2) Fédération de L'Industrie du Béton & CIMbéton, CERIB (2010), Le choix du silence, un choix pour l'avenir CT-T45

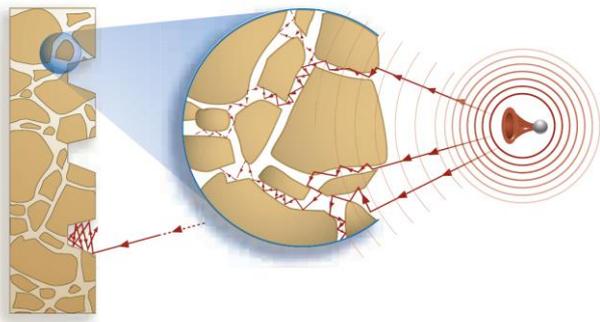


Ilustración 4: Absorción del ruido ⁽³⁾

Con cada cambio en la dirección de propagación de la onda se produce una reducción en la energía sonora, transformándose parte de ella en energía calórica. Luego de pasar a través de un muro absorbente, los niveles de energía remanentes son sensiblemente menores, resultando así en un menor sonido percibido por el ente receptor.



Ilustración 5: Barrera sónica absorbente

2.3 REACTIVAS

Este tipo de barreras son un caso particular de las barreras absorbentes, pues incorporan en su superficie cavidades o resonadores capaces de atenuar ciertas frecuencias particulares de sonido. Su funcionamiento consiste en que el sonido

ingrese en estas cavidades a través de pequeños orificios o ranuras en los elementos de hormigón prefabricado; la cavidad se diseña de forma tal de propiciar la anulación de la fase de la frecuencia que se desee. El rango de frecuencias para los que este tipo de barreras son eficientes puede incrementarse rellenando las cavidades con materiales absorbentes.

3 TIPOLOGÍAS CONSTRUCTIVAS

A las barreras sónicas puede clasificárselas no sólo por su principio físico de funcionamiento, sino también según su tipología constructiva. En este apartado pueden observarse las distintas tipologías de barreras sónicas construidas en hormigón.

3.1 ELEMENTOS PLACA DE HORMIGÓN, PREFABRICADOS O EJECUTADOS IN SITU

Es muy común el empleo de hormigón como material para la fabricación de barreras sónicas ya que, generalmente, mínimos espesores son suficientes para asegurar una efectiva mitigación en la propagación del ruido (**Ilustración 6 y 7**). Además, estos elementos son de bajo costo de mantenimiento lo que constituye una ventaja competitiva de relevancia en relación con otras tipologías.

Estas barreras pueden ser del tipo reflectivas o absorbentes, en función de las características de diseño del hormigón y de las materias primas empleadas. Los módulos reflectantes son, usualmente, elementos prefabricados de hormigón armado con los que se puede obtener una amplia gama de formas y terminaciones en relieve. Este último detalle resulta de gran utilidad en barreras de gran extensión, donde las consideraciones de acabado y aspecto estético cobran vital importancia.

(3) Fédération de L'Industrie du Béton & CIMbéton, CERIB (2010), Le choix du silence, un choix pour l'avenir CT-T45



Ilustración 6: Montaje de paneles de hormigón

Por otro lado, los módulos absorbentes pueden presentar formas planas o curvas, y se encuentran constituidos, básicamente, por una placa de hormigón armado, de espesor suficiente para asegurar el comportamiento mecánico de la barrera, y una capa realizada con hormigón poroso, a la que se le suele dar un acabado en relieve. Esta última es la que le brinda al panel propiedades de absorción acústica.

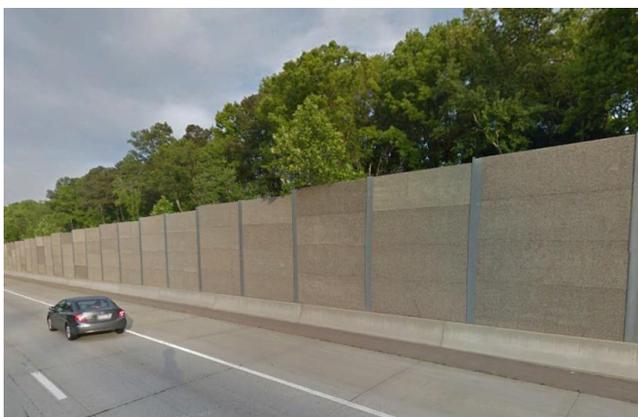


Ilustración 7: Barrera sónica de hormigón

Para la fabricación de estos elementos placa se pueden utilizar hormigones de características diversas, entre los que se puede destacar:

3.1.1 HORMIGONES DE ALTA RESISTENCIA INICIAL

Mediante el empleo de aditivos químicos que aceleran el fraguado y endurecimiento de los

hormigones, de reductores de agua de alto rango que permiten utilizar relaciones agua / cemento convenientemente bajas sin detrimento de la consistencia del hormigón fresco, el uso de contenidos elevados de cemento, y/o el uso de aquéllos que cuentan con una propiedad especial de Alta Resistencia Inicial (ARI), se obtienen los denominados Hormigones de Alta Resistencia Inicial. Tal como su designación lo indica, estos hormigones desarrollan una rápida ganancia de resistencia, permitiendo:

- > La mejora en los **estándares de productividad**, a partir de la reducción en los tiempos de producción requeridos para el desmolde del hormigón, y la factibilidad en el incremento del volumen de unidades producidas por unidad de tiempo.
- > **Menor consumo de energía** para el curado del hormigón.
- > Posibilidad de **ejecución de elementos más esbeltos**, con menor masa de hormigón y, por consiguiente, menor peso total.
- > **Rápida habilitación** de los elementos en servicio, con menores costos de stock e inmovilización del capital invertido.
- > **Menor costo de amortización de los moldes** de producción, por incremento de la productividad.

3.1.2 HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES

Estos hormigones tienen la capacidad de no requerir acciones específicas para el llenado de los moldes y la compactación del hormigón, por lo que permiten una rápida y sencilla colocación del material en los moldes, aún en zonas con alta densidad de armaduras de refuerzo.

Los acabados superficiales son excelentes, en virtud a su consistencia muy fluida, y baja viscosidad en su estado fresco. Usualmente, estos hormigones son considerados parte del grupo de los denominados “hormigones de alto desempeño (HAD)”.

Si bien el costo de producción de un volumen de hormigón autocompactante puede ser ligeramente superior al de una unidad de volumen igual de hormigón convencional, se detectan economías significativas en la durabilidad extendida de los moldes de fabricación (menor desgaste y deterioro en ausencia de aplicación de medios de compactación externa), en el menor requerimiento de mano de obra en el proceso de colado y terminación del hormigón, y una reducción en los costos de “retrabajos” o pérdidas por rechazo de unidades, por una disminución de los defectos de terminación en bordes vivos, en las superficies perimetrales, o por presencia de oquedades.

3.1.3 HORMIGONES ARQUITECTÓNICOS

En la etapa de diseño de una barrera sónica, el aspecto estético es una cuestión de importancia. De acuerdo con esto, para atender los requerimientos estéticos del diseñador, existen los denominados hormigones arquitectónicos, entre los que se destacan los hormigones coloreados, hormigones blancos (**Ilustración 8**), hormigones con agregado expuesto y los hormigones texturizados.

A continuación se hace una breve reseña de cada uno de estos tipos.

3.1.3.1 Hormigones Coloreados

La variación del color en el hormigón puede obtenerse mediante la adición de pigmentos colorantes durante la elaboración de la mezcla fresca de hormigón, o bien mediante el uso de agregados de colores y aspectos particulares, y de manera general, por procesos de acabado y texturizado superficial (**Ilustración 9**).

En ciertos casos, también puede colorearse en superficie el hormigón mediante la aplicación de pinturas y de recubrimientos especiales.

Un caso particular de hormigón coloreado es el hormigón blanco, el cual se obtiene mediante el empleo de cemento blanco en su elaboración. Este tipo de cemento es de tipo estructural, presenta características similares al cemento portland de color gris, y es de disponibilidad local. Los hormigones obtenidos mediante el empleo de ese tipo de cemento se adecúan a todo tipo de requerimientos estéticos de diseño.



Ilustración 8: Barrera sónica de hormigón blanco



Ilustración 9: Barreras sónicas de hormigón coloreado

3.1.3.2 Hormigones texturizados

Las texturas pueden obtenerse a través de distintas técnicas, tales como: el empleo moldes especiales y con recubrimientos texturizados, por exposición en superficie de los agregados gruesos, o bien, por el uso de herramientas manuales o mecánicas que actúen sobre la superficie del hormigón endurecido (**Ilustración 10**).

Al escoger una textura de acabado deben tenerse en consideración los siguientes aspectos:

- > **Características de la superficie y la forma de las partículas del agregado.** La forma de las partículas, así como sus características superficiales pueden afectar a las condiciones de reflexión de la luz y la resistencia a la intemperie del hormigón. Al respecto, cabe destacar que las partículas de agregados pueden presentar formas redondeadas, irregulares, planas o angulares, mientras que su superficie puede ser brillante, suave, granular, cristalina, o porosa.
- > **Orientación de la barrera.** Este factor presenta particular incidencia en el mantenimiento de los elementos y su comportamiento a la intemperie.
- > **Distancia de visibilidad.** Los patrones para el diseño superficial y el tamaño de los agregados a utilizar deben ser seleccionados considerando las distancias de visibilidad. En efecto, un elemento que se ubicará alejado del observador deberá presentar formas y texturas pronunciadas a fin de que aquél aprecie el diseño logrado.

La exposición de agregados se puede lograr mediante el uso de retardadores en la superficie interior de los moldes, que permiten luego retirar la pasta cementicia superficial que rodea a las partículas de agregado, o bien por acción mecánica de un flujo abrasivo con arena, o ataque ácido.



Ilustración 10: Hormigones texturizados

3.1.3.3 Hormigones pulidos en la cara expuesta

Mediante el proceso de esmerilado o pulido se obtiene una superficie suave y lisa en superficies con exposición de agregados. Este tipo de acabado ofrece excelentes condiciones de resistencia a la intemperie, y requiere un mínimo de mantenimiento, por lo cual es ideal para áreas de gran tráfico o zonas con severa polución ambiental. Antes de comenzar cualquier trabajo de esmerilado o pulido, se sugiere que la resistencia mínima a la compresión del hormigón sea del orden de los 35 MPa, a los fines de conservar la integridad de estos elementos.

3.2 PARAMENTOS DE MAMPOSTERÍA DE HORMIGÓN

Este sistema constructivo consiste en erigir muros o paramentos mediante la colocación de elementos mampuestos de hormigón. El trabajo de mampostería comprende a los bloques, al mortero de asiento, al mortero fluido de relleno (*grout*), y a la armadura de refuerzo horizontal y vertical. Los bloques de hormigón empleados en este tipo de muros pueden ser de caras lisas, rugosas y de textura “partida” (Split), o con conformado superficial.

Los paramentos de mampostería de hormigón son extensamente utilizados en la construcción de barreras sónicas, debido a su durabilidad y a la posibilidad de crear muros de acabado estético agradables. Ellos pueden elaborarse en el lugar, o bien pueden fabricarse fuera de obra, construyendo paneles prefabricados, los que luego se transportan y colocan en obra como cerramiento entre postes o columnas de hormigón (Ver **Ilustración 31**).

En la actualidad, en Argentina, las fábricas de bloques de hormigón cuentan con moldes especiales que les permiten producir bloques de diversas dimensiones, con gran variedad de formas y aparejos utilizables en estos proyectos. Estas plantas cuentan con procesos y sistemas de control con elevados estándares de calidad y uniformidad de la producción, garantizando el desempeño de los elementos fabricados.

Por encontrarse a la intemperie, estas barreras se encuentran sometidas a una variada combinación de cargas, temperatura y condiciones de humedad, por lo que es necesario seleccionar cuidadosamente los materiales a emplear, a fin de poder garantizar el correcto desempeño de la barrera a lo largo de todo el periodo de diseño. Asimismo, los trabajos de colocación de los mampuestos deben ser realizados cuidadosamente por personal calificado y con experiencia en la técnica constructiva.

En los casos de las barreras sónicas de altura considerable y gran extensión longitudinal, que estén sometidas a cargas laterales significativas, su diseño se encuentra limitado por las deflexiones que puedan experimentar. Ellas deben ser controladas a fin de evitar el desarrollo de fisuras debidas a la sollicitación por flexión, tanto en dirección vertical como horizontal, y en proximidad al cabezal de fundación.

Un criterio a adoptar como máxima deflexión admisible es un valor de $L/240$, donde L es la longitud del muro entre pilotes de fundación.

3.2.1 HORMIGÓN CELULAR CURADO EN AUTOCLAVE

Los hormigones celulares, junto a los hormigones de agregados livianos, integran el grupo de los llamados hormigones livianos. Ellos se obtienen a partir de la incorporación en la pasta de cemento de burbujas macroscópicas, originadas por la formación de gases en la masa de hormigón, o por la adición de espuma preformadas en su masa.

Con elevados contenidos de aire y una elevada porosidad, este material presenta propiedades de aislación acústica que son de especial conveniencia para la construcción de barreras sónicas, en particular, para las de tipo absorbente, a la vez que permiten reducir el peso de los paneles por unidad de superficie. Adicionalmente, este tipo de hormigón puede ser moldeado tanto in situ como en planta, comercializándose, estos últimos, en forma de bloques de medidas modulares y estandarizadas (**Ilustración 11**).



Ilustración 11: Bloques de hormigón celular

Este tipo de material se obtiene a partir de una reacción química entre componentes cálcicos y silíceos, finamente divididos, a altas temperaturas y presión. Los componentes cálcicos son la cal y el cemento portland, mientras que los componentes silíceos pueden ser arena natural molida o subproductos industriales, tales como las escorias y las cenizas volantes.

Este material presenta las siguientes características que lo hacen de especial utilidad para uso en barreras sónicas:

- > Bajo peso
- > Moderada a alta absorción del sonido
- > Durabilidad frente a la acción de plagas y agentes biológicos
- > No contaminante

3.3 MUROS EN COMBINACIÓN CON VEGETACIÓN

Los elementos de hormigón premoldeados, combinados con tierra y vegetación, presentan un muy buen desempeño, tanto en lo que refiere a las propiedades de aislación acústica, como a su aspecto estético (**Ilustración 14**).

Su construcción consiste en colocar elementos de hormigón premoldeados unos sobre otros, hasta alcanzar la altura requerida en el proyecto. El peso de este tipo de barreras es superior a los 30 kg/cm², por lo que la transmisión de las ondas sonoras a través de ellas se puede considerar despreciable. Una vez colocadas, se lleva a cabo la plantación de la vegetación seleccionada.



Ilustración 12: Muro de elementos prefabricados de hormigón

Existe la creencia popular de que la disposición de árboles y arbustos en las inmediaciones del camino es un buen mitigador del sonido. Sin embargo, en la práctica, la disposición de este tipo de vegetación atenúa solo levemente los niveles de ruido percibidos, con disminuciones del orden de los 5 dB cuando ella obstruye directamente la línea de propagación entre la fuente y el receptor.



Ilustración 13: Muros de elementos prefabricados de hormigón



Ilustración 14: Combinación con vegetación

4 CONDICIONES DE DISEÑO DE LAS BARRERAS

En este apartado se describen los principios básicos en los que se basa el diseño de las barreras sónicas.

4.1 GENERALIDADES

Se define como fuentes de sonido a aquellos elementos capaces de generar cambios en la presión del aire. Estos cambios en la presión pueden ser parametrizados a través de una escala de sonido, cuya unidad es el decibel (dB).

Cabe destacar que esta escala no es de crecimiento lineal sino logarítmico, por lo que la acción superpuesta de 2 o más sonidos no supone una acción equivalente a la suma directa de sus respectivas intensidades (Por ejemplo, si se tienen 2 fuentes que emiten 55 dB cada una, la suma de ambas da un valor de 58 dB)

4.1.1 LOCALIZACIÓN

Al encarar el diseño de una barrera sónica, es necesario estudiar su adecuada ubicación. En principio, la barrera sónica será más efectiva cuanto más cerca del camino o vía de transporte se la ubique (**Ilustración 15**).

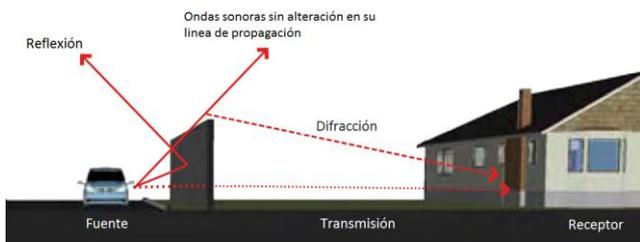


Ilustración 15: Funcionamiento de barrera sónica (5)

Sin embargo, si se ha de proyectar este tipo de elementos para un camino “en trinchera”, la ubicación óptima de la barrera es en el punto más alto posible (**Ilustración 16**).

En ciertos casos, es posible que estos principios no puedan llevarse a la práctica de manera estricta. En tales circunstancias, resultará necesario establecer una solución lo más funcional posible, respetando las condiciones estéticas del entorno.

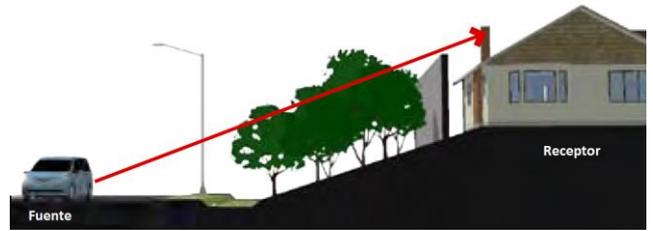


Ilustración 16: Ubicación barrera sónica (6)

4.1.2 ALTO

El alto de la barrera es un parámetro fundamental en el diseño de las barreras sónicas. Como regla general, se observa que cuanto mayor es su altura, mayor es la reducción en los niveles de sonido percibido. Su alto debe ser, por lo menos, el necesario para bloquear la línea de propagación de las ondas sonoras desde la posición de los motores de los vehículos hasta la de una casa en sus cercanías. Esta línea se evalúa desde un punto situado a una altura de 1,5 m por encima del nivel del piso de una casa adyacente al camino, hasta el punto más lejano de la ruta situado a una altura de 1 m respecto a calzada (**Ilustración 17**).

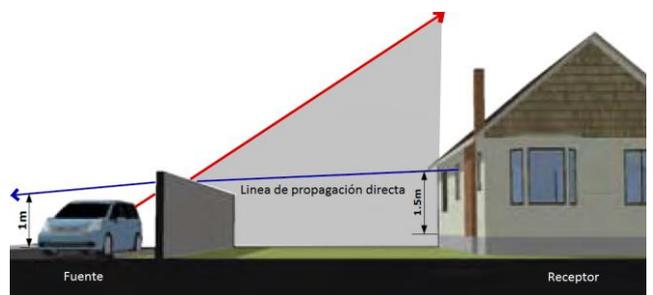


Ilustración 17: Influencia de la altura de la barrera (7)

Con interrumpir la línea de propagación de la onda sonora entre la fuente y el receptor, se obtiene una reducción mínima de 5 dB del ruido. La atenuación por parte de estas barreras tiene un límite teórico de alrededor de 20 dB. Sin embargo, en la práctica, un límite realista de reducción se encuentra en el entorno de los 15 dB.

En caso de tratarse de un camino de múltiples carriles, lo antes mencionado puede no presentar

(5), (6),(7), (8) NZ Transport Agency (Agosto 2010), NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide.

los mejores niveles de reducción de sonido, ya que el ruido proveniente de los carriles más lejanos no será reducido en el mismo nivel que el procedente de los carriles más cercanos (**Ilustración 18**). Una posible solución a esto es disponer de un segundo muro, aunque ello puede traer aparejado incidencias en la estética del lugar.



Ilustración 18: Caminos de dos sentidos (8)

Es oportuno destacar que la altura de las barreras no requiere ser constante en toda su extensión, sino que su altura puede ser variable según sean las necesidades de cada grupo de viviendas (**Ilustración 19**). Cada tramo debe diseñarse considerando la línea de propagación de las ondas según el criterio antes mencionado, y para cada situación en particular.



Ilustración 19: Paneles de diferente alto

4.1.3 LARGO

La difracción del sonido no se produce únicamente en el borde superior de la barrera, sino también en los límites laterales de la misma, siendo su longitud un aspecto importante del diseño. Una regla para estimar el largo requerido de la barrera consiste en establecer la medida necesaria para cubrir un ángulo de 160°, medidos desde el elemento receptor (**Ilustración 20**).



Ilustración 20: Consideraciones para determinar la longitud de la barrera ⁽⁹⁾

Si es necesario, debido a condiciones particulares del terreno o estéticas, la longitud de la barrera puede reducirse realizando un retorno en los bordes del muro (**Ilustración 21**).



Ilustración 21: Alternativa en caso de no disponer de la longitud requerida para la barrera ⁽¹⁰⁾

(9), (10) NZ Transport Agency (Agosto 2010), NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide.

4.1.4 DURABILIDAD

A la hora de diseñar este tipo de barreras no sólo debe tenerse en consideración el análisis acústico, sino también la durabilidad de la solución propuesta.

Se recomienda que sean diseñadas para permanecer en servicio por un período no inferior a los 40 años, por lo que, para poder cumplir con esta expectativa, resulta conveniente realizar una correcta selección de los materiales a emplear. A tal efecto, deben tenerse en cuenta los siguientes aspectos:

- > **Ingreso de agua:** el empleo de materiales porosos presenta numerosas ventajas en las propiedades acústicas del muro, aunque facilita el ingreso del agua, y con ello, el ingreso de sustancias de ataque al hormigón.
- > **Vandalismo:** Los muros pueden estar sujetos a actos de vandalismo, tales como los grafitis. Una adecuada textura superficial, o la disposición de vegetación, pueden contribuir a desalentar este tipo de actividades.
- > **Impacto de objetos:** las barreras situadas en proximidad al camino están sujetas al impacto de objetos y partículas provenientes de los vehículos. El muro debe verificar que, a lo largo de su vida útil, el daño ocasionado por estos impactos no adquiera una magnitud relevante, admitiéndose únicamente daños superficiales ligeros.
- > **Carga de fuego:** Las barreras deben estar diseñadas de modo tal que puedan resistir una eventual exposición al fuego directo, sin que su capacidad estructural se vea afectada.

4.1.5 MANTENIMIENTO

En la concepción de una barrera sónica deben atenderse varias cuestiones en lo a que mantenimiento se refiere. Desde la etapa de proyecto y diseño se pueden adoptar medidas que tiendan a prevenir ataques futuros de personas, o su deterioro debido a su exposición a la intemperie.

En caso de no poder adoptar medidas preventivas, existen también medidas de mitigación tendientes a disminuir los daños producidos por su uso normal. Dentro de este tipo de medidas se pueden mencionar las siguientes:

4.1.5.1 Tratamientos anti grafiti

Los grafitis representan el mayor problema en materia de mantenimiento de barreras de sonido. Es por esto que existen distintas medidas para afrontar este inconveniente, siendo quizá, una de las más efectivas, disponer de plantas y arbustos en las inmediaciones de los muros, a fin de no brindar una superficie apta para el grafiti, así como también hacer dificultoso el acceso de los vándalos.

Otra forma de prevenirlos es incluir a los grafitis en el diseño estético de la barrera, realizando en ellas murales con obras de artistas urbanos. Esto genera, además de desalentar la aparición de grafitis, un sentido de pertenencia de la comunidad en el proyecto.

En la actualidad, hay disponibles en el mercado productos específicos para el tratamiento superficial de estas barreras con químicos que impiden que la pintura sea absorbida ante casos de grafiti. Dentro de estos tratamientos existen 2 tipos: los de superficie de sacrificio y los permanentes.

Los primeros son compuestos químicos que actúan como una membrana entre la superficie del muro y la pintura; una vez realizado el grafiti se procede a limpiar la barrera, en cuyo proceso se removerá esta película. Se denomina “tratamiento de sacrificio”, ya que, una vez realizada la limpieza, este tratamiento deberá realizarse nuevamente. Los segundos son pinturas que impiden la adherencia de la pintura al muro, facilitando su remoción, tal como se muestra en la **Ilustración 22**.

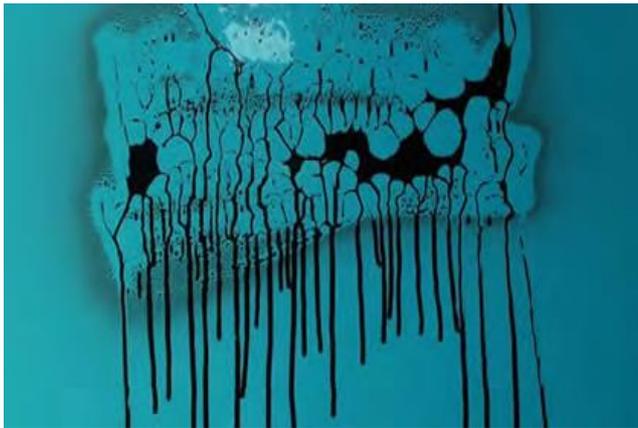


Ilustración 22: Superficie tratada con pintura anti-grafiti ⁽¹¹⁾

4.1.5.2 Limpieza

Se debe tener en cuenta que las barreras son susceptibles de ser manchadas por salpicaduras de agua o por los productos de la combustión en los vehículos (hollín), al estar expuestas a la intemperie. En el caso de barreras de hormigón, estos trabajos de limpieza resultan mínimos, ya que con el agua de lluvia y con algún tratamiento superficial puede mantenerse bajo control los cambios en su coloración.

4.1.5.3 Vegetación

Resulta conveniente que las plantas seleccionadas para ser colocadas en las inmediaciones de las barreras sónicas presenten un crecimiento rápido, con un periodo de vida de, al menos, 20 años, y que tengan la capacidad de auto reproducirse y, principalmente, que sus raíces no afecten a la estructura de la barrera (**Ilustración 23**).

En la provincia de Buenos Aires se emplean una variedad de especies de árboles y arbustos, entre los que se puede destacar, por la no agresividad de sus raíces, a la acacia de Constantinopla, el árbol de Judea, el ciruelo de adorno y el crespón, entre otros.



Ilustración 23: Empleo de vegetación ⁽¹²⁾

4.1.6 MATERIALES

La calidad y el tipo de los materiales empleados deben ser acordes con las condiciones y características del entorno en donde se emplace la barrera. Por ejemplo, las que se instalen en sitios inaccesibles o sujetos a condiciones climáticas extremas, requerirán componentes más durables que aquéllas que se instalen en zonas accesibles o se encuentren en ambientes resguardados de acciones agresivas.

La elección del material apropiado es de incidencia directa en el desempeño de la barrera a lo largo de su vida útil, pudiéndose reducir considerablemente la necesidad de realizar tareas de mantenimiento. En este aspecto, el hormigón es uno de los materiales que mejor satisfacen estas necesidades, puesto que presentan una elevada vida útil con una mínima necesidad de trabajos de mantenimiento.

4.1.7 DESEMPEÑO ACÚSTICO

El material, la forma, la ubicación y las dimensiones de las barreras sónicas inciden sobre la capacidad de éstas para mitigar la propagación de emisiones sonoras. Dependiendo de la elección del material (absorbente o no), la energía sonora será, en parte, reflejada, absorbida por el material o transmitida a través de él.

(11); (12) NZ Transport Agency (Agosto 2010), NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide.

Para poder estimar la capacidad de transmisión del sonido de una barrera, se evalúan los índices de energía a cada lado de la barrera, siendo el logaritmo natural de su diferencia la pérdida por transmisión (denominado comúnmente como TL por sus siglas en inglés). La pérdida por transmisión de una barrera depende del material de la misma (principalmente de su peso) y del espectro de frecuencia de la fuente emisora del ruido. Por ejemplo, un nivel de TL de 30 dB significa que prácticamente todo (99.9%) el sonido ha sido bloqueado.

Según el material y su peso, se puede buscar satisfacer ciertas condiciones de transmisión del sonido. Por ejemplo, en el hormigón puede alcanzarse un TL de 30 dB para una frecuencia de 100 Hz, con un espesor de 1,60 cm.



Ilustración 24: Paneles de hormigón premoldeado ⁽¹³⁾

4.1.7.1 Efecto del viento

La estimación de los niveles de ruido de los diferentes caminos se realiza para las condiciones climáticas promedio del lugar. Sin embargo, hay días en el año donde se presentan condiciones diferentes a las consideradas. En el caso particular de vientos fuertes, puede registrarse una reducción en la capacidad de mitigar el ruido de las barreras, puesto que las ondas sonoras son transportadas por encima de ésta por acción de las corrientes de

aire. Una alternativa de solución a ello consiste en la ubicación de una fila de árboles detrás de la barrera.

Los efectos del viento deben ser considerados en el análisis acústico para las barreras situadas en regiones cuando la región reciba vientos fuertes en forma frecuente.

4.1.8 ASPECTO ESTÉTICO

La estética de las barreras es un aspecto fundamental en el diseño de las barreras sónicas, puesto que éstas se encuentran, por lo general, ubicadas en las inmediaciones de centros poblacionales. En este sentido, resulta relevante destacar que el diseño estético no debe comprometer al desempeño acústico. A fin de poder realizar un trabajo funcional con un mínimo impacto visual, se presentan a continuación algunas consideraciones a tener en cuenta a la hora de proyectar una barrera sónica.

4.1.8.1 Integración con el entorno

Las barreras sónicas deben integrarse con el diseño de la totalidad del corredor y complementar a las estructuras del camino y del paisaje. Algunos elementos estéticos deben ser evaluados y considerados por separado en el proceso de diseño, dependiendo de qué lado la barrera sea observada.

4.1.8.2 Alineamiento

Una ligera inclinación hacia el lado exterior del camino (**Ilustración 26**), puede conllevar una considerable mejora en el impacto visual de la barrera para los conductores, reduciendo así el “efecto túnel” (Sensación de encierro que genera dos muros paralelos continuos próximos entre sí). Otorgarle al muro esta leve inclinación puede también mejorar el desempeño acústico, evitando la reverberación de las ondas sonoras.

(12), (13) NZ Transport Agency (Agosto 2010), NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide.

4.1.8.3 Proximidad

Se debe evitar que las barreras propicien zonas con baja incidencia de luz solar, puesto que ello puede favorecer a la formación de lugares sombríos, fríos y no confortables, en donde no haya buena iluminación ni ventilación.



Ilustración 25: Zona de sombras⁽¹⁴⁾

4.1.8.4 Forma

Las barreras sónicas deben ser diseñadas estéticamente considerando las dos caras del muro, y su diferente funcionalidad. El lado visible desde la carretera será apreciado por personas que se mueven a gran velocidad en los vehículos, cuya percepción es dinámica, por lo que, sólo serán apreciados patrones geométricos y la forma general de la barrera.



Ilustración 26: Inclínación de la barrera sónica, vista posterior al camino⁽¹⁵⁾

En cuanto al lado de la cara opuesta al camino, la barrera es visible únicamente por las personas que residen en el área urbana cercana, y se integra al paisaje cotidiano. A diferencia del lado interno del muro, los observadores son de carácter estático, por lo que, dependiendo de la proximidad del mismo, se deberá considerar la construcción y diseño de detalles visibles.

4.1.8.5 Altura

La regla general indica que cuanto mayor es la altura de la barrera, más efectiva es ésta en términos de disipación del ruido. Sin embargo no pueden construirse muros considerándose la altura únicamente en favor de mejorar la aislación acústica, pues ello puede generar un impacto visual desfavorable considerable sobre los residentes del lugar. Por esto, en el proceso de diseño se debe limitar la altura de los muros a fin de obtener un equilibrio entre el impacto visual y el buen desempeño acústico.

4.1.8.6 Largo

En la mayoría de los casos, las barreras deben mantenerse paralelas a la superficie del camino. Sin embargo, en casos donde se tengan grandes longitudes, resulta un recurso estético valioso adoptar variaciones en el material empleado, o en la altura de los muros ejecutados, a fin de disminuir el impacto que generan la monotonía de su desarrollo.

4.1.8.7 Apariencia

Las barreras sónicas deben ser consistentes en color, materiales y textura a lo largo de la longitud del corredor. Es importante evitar cambios bruscos en el diseño o en la terminación del tope de la barrera, pues ello puede ocasionar distracciones en los conductores.

(14); (15) NZ Transport Agency (Agosto 2010), NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide.

4.1.8.8 Terminaciones superficiales

Las terminaciones superficiales le brindan a la barrera no sólo un aspecto agradable, sino que también tienen incidencia en cuestiones de mantenimiento. Las superficies obtenidas pueden tener una amplia gama de colores, de texturas y también de patrones.

4.1.8.9 Aberturas

El efecto túnel se genera cuando se disponen las barreras a ambos lados de la carretera, generando en el usuario de la ruta la sensación de confinamiento y aislamiento del lugar por el que está pasando. Para mitigar este efecto se debe considerar la disposición de aberturas en la barrera (zonas transparentes), de modo tal de que se permita el ingreso de luz y pueda observarse hacia el exterior de la barrera. Esto debe ser considerado especialmente en zonas donde la luz natural escasee.

4.1.9 ACCESIBILIDAD

Con el fin de brindar accesibilidad a ambos lados de la barrera a los servicios de emergencia y de mantenimiento, se debe disponer de puertas o espacios abiertos (Al respecto, algunas normas internacionales indican que debe disponerse de un acceso libre cada, al menos, 200 m). Es importante que la capacidad de atenuar el sonido de estas barreras no se vea afectada en aquellos lugares donde se encuentren estos accesos.

4.1.9.1 Requerimientos de accesibilidad y seguridad civil a los peatones

Tal como se ha mencionado previamente, este tipo de estructuras pueden representar una superficie atractiva para los vándalos para realizar grafitis o, en ocasiones también, generar un ambiente poco seguro para los transeúntes que pasen por sus inmediaciones. Es por esto que a la hora de diseñar estas estructuras deben atenderse estas cuestiones, de modo tal de evitar estos inconvenientes. Para ello, se deben garantizar las siguientes condiciones:

- > **Accesibilidad:** generar espacios para la circulación y buenas conexiones
- > **Vigilancia y visibilidad:** los espacios libres deben estar interconectados, señalizados y bien iluminados
- > **Disposición:** generar una orientación lógica y clara, a modo de favorecer una fácil ubicación.
- > **Favorecer la actividad social:** lugares concurridos desalientan las actividades del tipo vandálicas o criminales.
- > **Proveer elementos de protección físicos** para las barreras.
- > **Sentido de pertenencia:** generar en los usuarios conciencia de que ese espacio les pertenece, propicia que éstos lo cuiden.

4.2 SOSTENIBILIDAD

Durante el proceso de diseño de este tipo de barreras, existe una serie de cuestiones sociales, culturales y económicas a atender, a fin de realizar en el lugar de instalación

Usualmente, las barreras de hormigón no se elaboran en el lugar donde se van a emplazar, sino que se fabrican en plantas industriales y son trasladadas al lugar de su emplazamiento. Esto permite una considerable reducción en el impacto que ocasiona en el entorno de la obra, mitigándose los efectos propios de la construcción in situ.

Este tipo de barreras se construyen con módulos de hormigón estandarizados, lo que permite reducir los tiempos de construcción y la cantidad de energía requerida.

4.2.1 DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

La mayor parte de los materiales empleados en el hormigón son de disponibilidad local, en cualquier sitio de consideración. El cemento utilizado se elabora a partir de materiales naturales, tales

como la piedra caliza y las arcillas, emplazándose las plantas cementeras en proximidad a la localización de las canteras de tales recursos, al igual que como una construcción sostenible. Las barreras sónicas realizadas en hormigón prefabricado presentan los siguientes beneficios en materia de Sostenibilidad.

4.2.2 POSIBILIDAD DE EMPLEO DE MATERIALES RECICLADOS

El hormigón prefabricado se elabora con encofrados reutilizables, lo que ocasiona una disminución en los residuos de construcción. Adicionalmente, el hormigón puede ser elaborado con materiales reciclados o residuos procedentes de otras industrias, tales como las adiciones minerales, los agregados reciclados, o las aguas residuales de otros procesos y complejos industriales.

4.2.3 MENOR IMPACTO EN EL LUGAR DE INSTALACIÓN

Usualmente, las barreras de hormigón prefabricado no se elaboran en el lugar donde se van a emplazar, sino que se fabrican en fábricas y son trasladadas al lugar de su emplazamiento. Esto permite una considerable reducción en el impacto que ocasiona en el entorno de la obra, mitigándose los efectos propios de la construcción in situ.

Este tipo de barreras se construyen con módulos de hormigón estandarizados, lo que permite reducir los tiempos de construcción y la cantidad de energía requerida.

4.2.4 DISPONIBILIDAD DE MATERIALES

La mayor parte de los materiales empleados en el hormigón son de disponibilidad local, en cualquier sitio de consideración. El cemento utilizado se elabora a partir de materiales naturales, tales como la piedra caliza y las arcillas, emplazándose las plantas cementeras en proximidad a la localización de las canteras de tales recursos, al igual que como sucede con los agregados al hormigón.

4.2.5 DURABILIDAD

El hormigón es un material muy durable, que puede otorgarle a la barrera sónica una vida útil superior a los 50 años, o hasta 100 años, con un mínimo mantenimiento.

4.2.6 CONDICIONES CONTRALADAS DE CONSTRUCCIÓN

Los paneles de hormigón son realizados en fábrica, por lo que se tienen condiciones controladas de elaboración. Esto permite un uso eficiente de los recursos, tales como el agua, cemento y agregados, y condiciones propicias para un riguroso control de calidad de las materias primas y los productos fabricados.

4.3 PREVISIONES FRENTE AL IMPACTO VEHICULAR

Para minimizar el riesgo de que se produzcan colisiones de vehículos contra las barreras sónicas, resulta conveniente instalarlas a una distancia prudencial de la zona de camino, preferentemente por detrás de la zona de despeje o, en su defecto, instalar protecciones físicas por delante del muro a modo de protección. Estas defensas pueden ser rígidas (por ejemplo, de hormigón) o semi rígidas (guarda-rails de acero). En caso de decidir disponer de defensas semirrígidas, se debe contemplar la deflexión que pueden desarrollar en ocasión de un impacto.



Ilustración 27 Barrera sónica de hormigón con protección de New Jerseys

Barreras sónicas de hormigón

Cuando las circunstancias lo permiten, puede combinarse las barreras sónicas con las defensas de hormigón, de modo tal que ambas conformen un único elemento. Esto representa una solución de menor costo, que combina tanto seguridad al tránsito como protección acústica. Otros aspectos a considerar en materia de seguridad son:

- > El eventual impacto de piedras sobre las barreras por el uso habitual del camino, y la caída de escombros tras un impacto
- > Para barreras de gran longitud, debe disponerse de vanos para el ingreso y egreso de personas y de vehículos en emergencia.
- > Probables incendios de vehículos afectados en siniestros viales. Al respecto, es conveniente evitar el empleo de materiales inflamables para la construcción de la barrera.



Ilustración 28: Barrera sónica de hormigón con protección de New Jerseys

5 DISEÑO ESTRUCTURAL

5.1 CARGA DE VIENTO

Toda estructura emplazada en el exterior se encuentra expuesta a cargas de viento, por lo que resulta pertinente evaluar su acción. En el caso particular de las barreras sónicas, la carga de viento es modelada como una presión horizontal actuante sobre la pared.

De acuerdo con bibliografía internacional, esta presión puede calcularse mediante la ecuación ubicada en la sección 1.2.1.2 de la guía de diseño AASHTO (1992).

$$P = 0,00256 * (1,3 V)^2 * C_d C_c$$

Donde,

P = Presión del Viento

V = Velocidad del Viento de diseño, basada en un periodo de recurrencia de 50 años. Incrementada por un factor de 1,3, para considerar el efecto de las ráfagas

C_d = Coeficiente de arrastre, adoptado 1,2 para barreras de sonido

C_c = Coeficiente combinado por el efecto de la altura, la exposición y la localización de la barrera.

En la Argentina, para efectuar el análisis de carga de viento en los distintos elementos de una estructura, se emplea la metodología planteada en el reglamento INTI-CIRSOC 102-2005 (Reglamento Argentino de Acción del Viento Sobre las Construcciones).

En el diseño debe verificarse que las solicitaciones generadas debido a la carga del viento sean acordes a la resistencia lateral del muro.

En los códigos y reglamentos aplicables no se encuentran determinados valores de deflexiones máximas, ni se especifican límites para las deflexiones en este tipo de muros. Esto se debe a que las deflexiones debidas a la acción del viento, en la mayoría de las barreras sónicas, no son relevantes desde el punto de vista de la resistencia y de la estabilidad, ni tampoco son percibidas por las personas. Sin embargo, para el caso de los muros de gran altura, las deflexiones pueden ser percibidas por el público como un peligro potencial.

5.2 CARGA DE IMPACTO

El eventual impacto de vehículos como carga de diseño de este tipo de muros se lo considera

mediante la aplicación de una carga de 45 kN en la barrera, cuya finalidad es simular el efecto que generaría el impacto de un automóvil contra ella.

Aunque esta previsión busca asegurar que la barrera tenga la resistencia suficiente como para resistir la acción, ella no contempla la respuesta dinámica de la estructura ante un impacto. Por ello, resulta conveniente que, en caso donde no se disponga de una zona abierta entre el muro y el camino, se disponga una barrera de seguridad separada del mismo.

5.3 OTRAS CARGAS DE DISEÑO

Si bien el diseño estructural de las barreras sónicas se encuentra regido principalmente por la acción del viento, existen otras cargas actuantes que deben ser consideradas según sea necesario. Son algunos ejemplos de ellas las cargas sísmicas, las de nieve, las variaciones de temperatura y la presión de agua en caso de zonas inundables.

El cálculo de estos estados de carga se realiza siguiendo las metodologías planteadas en los reglamentos nacionales argentinos:

- > **CIRSOC 103:** Normas Argentinas para las Construcciones Sismo Resistentes
- > **CIRSOC 104:** Acción de la Nieve y del Hielo Sobre las Construcciones
- > **CIRSOC 105:** Superposición de Acciones-Combinación de Estados de Carga
- > **CIRSOC 107:** Acción Térmica Climática Sobre las Construcciones

6 FUNDACIONES

Para poder llevar a cabo el diseño de las fundaciones de la barrera debe disponerse de información detallada respecto a las características del suelo de fundación, en cuanto a los parámetros necesarios para el cálculo

estructural, tales como la resistencia a la penetración, el ángulo de fricción del suelo, su clasificación, entre otros parámetros.

Genéricamente, pueden encontrarse 2 casos diferentes en las condiciones del terreno de emplazamiento de las barreras, a saber: caso A – suelo nivelado a ambos lados de la barrera y caso B – suelo nivelado del lado del camino y terreno en pendiente del otro.

Para el diseño, se consideran 2 criterios posibles de falla en los proyectos de fundación: la falla por estabilidad externa o interna. En el primer tipo, se produce el vuelco o el deslizamiento de la estructura sin comprometer la integridad estructural, utilizando las cargas de servicio. El segundo caso representa la falla por flexión y/o cizalladura del cabezal de fundación o de los pilotes. Para este criterio, en el cálculo se emplean las cargas mayoradas según el reglamento en vigencia.

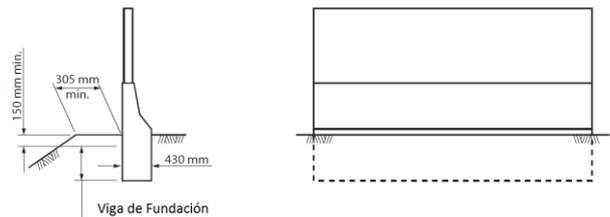


Ilustración 29: Fundación continua⁽¹⁶⁾

Se debe realizar un estudio hidráulico del sitio de emplazamiento de la obra, considerando el diseño y ubicación del muro, la topografía y el historial de precipitaciones. Es importante realizar este estudio a fin de evitar que la barrera sónica actúe como un dique, impidiendo la circulación del agua.

6.1 TIPOS DE FUNDACIONES

Para el proyecto de barreras sónicas, la elección del tipo de fundación a emplear depende de las condiciones del proyecto, tales como: el tipo de suelo, las dimensiones del muro y las características del terreno. Los principales tipos de fundaciones empleadas son las vigas de fundación, las

fundaciones aisladas, los pilotes y, en algunos casos, el apoyo de las barreras sobre defensas de hormigón.

6.1.1 VIGAS DE FUNDACIÓN O FUNDACIÓN CONTINUA (TRENCH FOOTING)

La longitud del apoyo debe ser diseñada empleando el Reglamento CIRSOC 201-2005. El factor de seguridad al volcamiento se calcula como el momento resistente dividido el momento volcador, con un factor de seguridad no menor a 1,5. En cambio, el máximo momento para estabilidad interna debe ser calculado en el punto de cizallamiento nulo de la fundación (**Ilustración 29**).

6.1.2 FUNDACIÓN AISLADA (SPREAD FOOTING)

Este tipo de fundaciones también deben ser diseñadas según el criterio de falla por “Estabilidad Externa”, utilizando para su cálculo a las cargas de servicio, afectadas por un coeficiente de seguridad de 1,5 para el análisis a volcamiento, y de 1,2 para el análisis al deslizamiento.

6.1.3 PILAS

Este tipo de fundaciones pueden ser de distintos tipos según su sistema constructivo. La elección del tipo de pilote a emplear está ligada al tipo de suelo en donde se lo va a situar, y el tipo de estructura a soportar.

Los pilotes son clasificados también según como se los instale, pudiendo ser pilotes hincados, perforados o elaborados in situ. Según el método de colocación, se deberán tener en cuenta distintos esfuerzos ocasionados por su interacción con el suelo en el proceso.

6.1.4 APOYO SOBRE BARRERA DE HORMIGÓN

Generalmente, las barreras de protección de hormigón no son utilizadas para contener suelo; la única excepción a ello se presenta cuando se instala una barrera sónica sobre ellas. Estas barreras

erigidas sobre las defensas de hormigón, las que se diseñan de manera similar a las fundaciones por pilotes, aunque considerando las cargas debidas a la presión del suelo y por sismo, en caso de ser necesarias.

En caso de que la barrera se sitúe en un terreno con pendiente, debe disponerse de una barrera a fin de proteger los pilares (**Ilustración 30**).

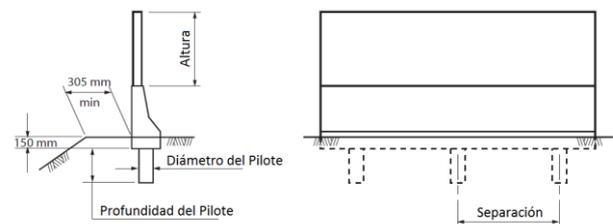


Ilustración 30: Fundación sobre pilas⁽¹⁷⁾

6.2 DRENAJES

Para evitar esto, se recomienda disponer de aberturas que permitan el paso del agua a través de la barrera a lo largo de toda su extensión. La experiencia obtenida en los distintos casos de aplicación en los Estados Unidos indica que estas aberturas circulares deben tener, aproximadamente, 10 cm de diámetro, teniendo en cuenta que una medida inferior no permite drenar la totalidad del agua, y que una mayor representa un espacio suficiente para el ingreso de roedores u otros animales.

7 CARACTERÍSTICAS Y REQUISITOS GENERALES

Se recomienda cumplir con los siguientes requisitos para los materiales componentes de las barreras sónicas.

7.1 HORMIGÓN

Según la norma europea UNE-EN-1793-1, se clasifica a los materiales por su capacidad de absorción del

ruido, tomándose como parámetro de control la diferencia de mediciones a cada lado del muro expresadas en decibeles (ver **Tabla 1**).

Tabla 1: Clasificación de los materiales según su capacidad de absorción de ruido (Norma UNE-EN 1793-1)

Categoría	ΔL_{α} [dB]
A0	No determinado
A1	<4
A2	4 a 7
A3	8 a 11
A4	>11

Para los distintos elementos de hormigón que constituyen la barrera, se requiere que sean de las siguientes categorías:

- > El hormigón empleado en postes y paneles de barreras sónicas del tipo reflectivas debe ser clase A4.
- > El hormigón para fundaciones y sustratos de nivelación debe ser de clase A3
- > Cualquier otro elemento de hormigón debe ser clase A3 o A4
- > El hormigón poroso, del tipo absorbente del ruido, debe ser destinado sólo para recubrimientos.

Para condiciones de exposición del hormigón que puedan implicar un compromiso a su durabilidad, son de aplicación las prescripciones establecidas en el Capítulo 2 del Reglamento Argentino CIRSOC 201:2005.

7.2 MONTAJE DE PANELES PREFABRICADOS

Al momento de realizar el montaje de los paneles debe atenderse lo siguiente:

- > No elevar los paneles hasta que haya adquirido el hormigón una resistencia de, al menos, 10 MPa, o la necesaria por razones de integridad estructural, la que resulte mayor.

- > No transportar ni erguir los paneles hasta que hayan adquirido una resistencia mínima de 20 MPa, o la necesaria por razones de integridad estructural, la que resulte mayor.

- > Restringir la aplicación de cargas vivas (incluyendo las de montaje) hasta que los paneles alcancen una resistencia de 30 MPa, o la necesaria por razones de integridad estructural, la que resulte mayor.

7.3 RECUBRIMIENTOS DE PROTECCIÓN

Los revestimientos de color empleados como protección en los paneles de hormigón deben cumplir las siguientes especificaciones:

- > Pinturas para materiales absorbentes no deben obstruir sus poros.
- > El material no debe oxidarse, ni presentar deterioro al estar expuesto a la intemperie.
- > El material no debe presentar cambios en su tinte luego de 1000 horas evaluado mediante el ensayo especificado en ASTM D822 (ASTM, 2006a)
- > Adecuada resistencia a los ácidos, álcalis, y combustibles, al ser evaluado mediante el ensayo especificado en ASTM D543 (ASTM, 2006b)
- > Reducciones controladas en la absorción del sonido dentro de los poros del material, por presencia de contaminantes presentes en el ambiente.
- > La aplicación del producto sobre la superficie debe efectuarse mediante equipos pulverizadores, con aire a presión.

7.4 MARCO NORMATIVO NACIONAL E INTERNACIONAL

- > American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) Structural Design Specifications for Sound Barriers (AASHTO

1992a)

- > AASHTO Bridge Specifications (AASHTO 1992b)
- > INTI-CIRSOC 201 2005, Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón (Capítulo 16, Estructuras de Hormigón Prefabricado)
- > INTI-CIRSOC 102 2005, Reglamento Argentino de Acción del Viento Sobre las Construcciones
- > Norma europea para los Dispositivos de Reducción del Ruido del Tráfico (EN 14388), la que se encuentra dividida en tres partes:
 - × Desempeño Acústico (EN 1793)
 - × Desempeño no-acústico (EN 1794)
 - × Desempeño a largo plazo (EN 14389)

propagado en el aire. Este índice determina la cantidad de energía sonora que atraviesa el muro y la cantidad de energía que efectivamente llega al receptor. Por ejemplo, una barrera sónica con un factor *STC* igual o mayor que 30, menos del 0,1% de la energía sonora es propagada por el material del muro.

Este parámetro, es el más comúnmente usado en los Estados Unidos al momento de determinar la reducción de sonido de un material.

8 EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES ACÚSTICAS

8.1 COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DEL RUIDO (NRC, POR SUS SIGLAS EN INGLÉS)

El coeficiente de reducción, o *NRC* por sus siglas en inglés, es la relación entre la cantidad de energía reflejada por el muro en dirección a la fuente emisora y la energía absorbida por el material del mismo. Este coeficiente adopta valores entre 0 (Muro 100% reflectivo) y 1 (Muro 100% absorbente). Por ejemplo, con un valor de *NRC* igual a 0.7, un 70% de la energía es absorbida, mientras que el 30% restante es reflejado en dirección a la fuente emisora.

8.2 CLASE DE TRANSMISIÓN DEL SONIDO (STC, ÍDEM ANTERIOR)

La Clase de Transmisión de Sonido, o *STC* por sus siglas en inglés, es una medida del desempeño del material en su capacidad de atenuación del sonido

Tabla 2: Clase de transmisión del sonido para distintos tipos de muros⁽⁴⁾

Descripción del muro		Peso aproximado del muro [kg/m ²]	Clase de transmisión del sonido medida (STC)
Terminación lado interno del muro	Terminación lado externo del muro		
Muros de Hormigón de 15 cm de espesor			
Plano	Plano	346	57
Plano	Placa de yeso apoyada sobre canales tipo "Z"	354	59
Plano	Placa de yeso de ½ pulgada, apoyada sobre canales tipo "Z". Relleno con lana de vidrio	367	62
Plano	Placa de yeso de, apoyada sobre listones de madera, de 2x2 pulgadas de sección. Relleno con lana de vidrio	383	63
Placa de yeso de, apoyada sobre listones de madera, de 2x2 pulgadas de sección. Relleno con lana de vidrio	Placa de yeso de ½ pulgada, apoyada sobre canales tipo "Z". Relleno con lana de vidrio	356	63
Muros de Hormigón de 20 cm de espesor			
Plano	Plano	472	58
Placa de yeso de ½ pulgada, apoyada sobre canales tipo "Z". Relleno con lana de vidrio	Placa de yeso de ½ pulgada, apoyada sobre listones de madera de 2x2 pulgadas de sección.	496	59
Plano	Placa de yeso de ½ pulgada, apoyada sobre listones de madera de 2x2 pulgadas de sección.	474	59
Plano	Placa de yeso de ½ pulgada, apoyada sobre listones de madera de 2x2 pulgadas de sección. Relleno de lana de vidrio	475	63
Muros de mampuestos de hormigón liviano de 20 cm de espesor			
Plano	Plano	156	44
Plano	2 capas de pintura acrílica	156	48
Plano	Separación de una pulgada. Placa de yeso, con relleno de lana de vidrio	171	59
Listones de madera de 2x2 pulgadas de sección, dispuestos verticalmente. Capa de 1,5 pulgadas de lana de vidrio. Placa de yeso de media pulgada	Placa de yeso de media pulgada	186	57
Listones de madera de 2x2 pulgadas de sección, dispuestos verticalmente. Capa de 1,5 pulgadas de lana de vidrio. Placa de yeso de media pulgada	plano		58
Cavidades rellenas con mortero. Pintada	Cavidades rellenas con mortero. Plano	435	56

(4) Albert Litvin & Harold W. Belliston (Diciembre 1978) Sound Transmission Loss Through Concrete Masonry Walls. Portland Cement Association (PCA).

Barreras sónicas de hormigón

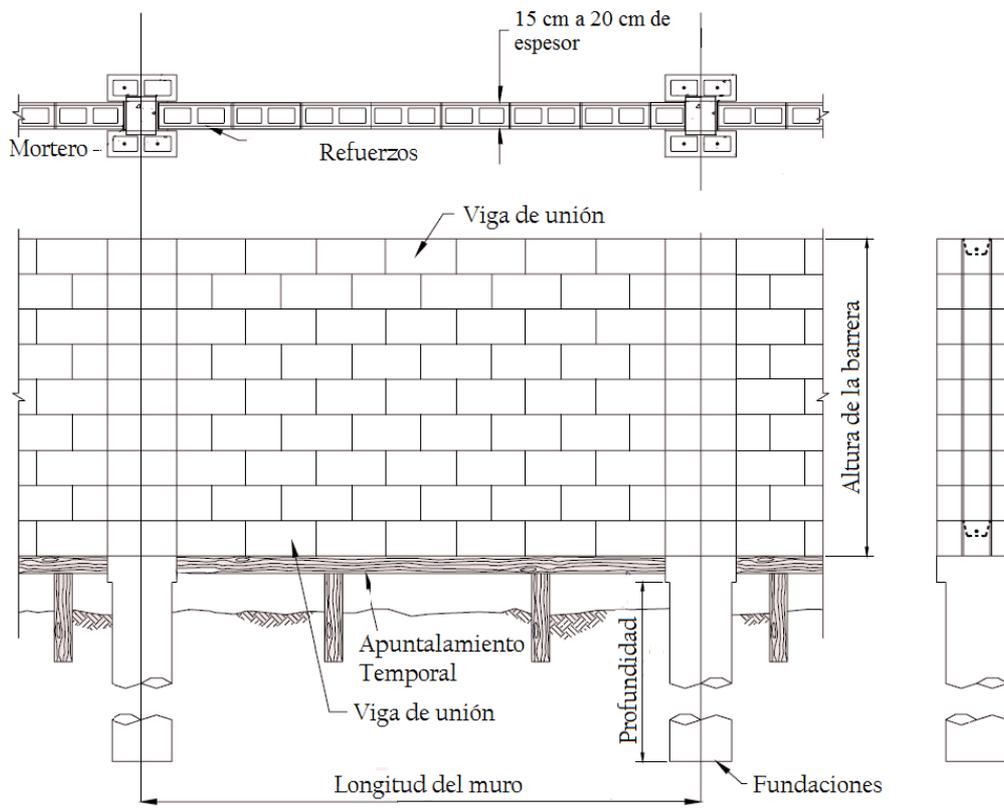


Ilustración 31 Esquema constructivo de barrera sónica con bloques de mampostería de hormigón.

9 BIBLIOGRAFÍA

- > N/A, *NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide*, NZ Transport Agency; Agosto 2010. ISBN 978-0-478-36479-8. (<https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/state-highway-noise-barrier-design-guide/docs/noise-barriers-version-1.0.pdf>)
- > N/A, *Cutting down noise with precast concrete and masonry barriers*, British Precast; 2005. (<http://www.britishprecast.org/documents/CuttingDownNoise.pdf>)
- > KLINGNER R., MCNERNEY M. & BUSCH I.; *Design Guide for Highway Noise Barriers*, TxDOT; Noviembre 2003. (https://www.utexas.edu/research/ctr/pdf_reports/0_1471_4.pdf)
- > N/A, *Memo to Designers*, Caltrans Metric, Agosto 2004. (<http://www.dot.ca.gov/hq/esc/techpubs/manual/bridgemanuals/bridge-memo-to-designer/page/Section%2022/22-1m.pdf>)
- > N/A, *Guidelines on Design of Noise Barriers*, Environmental Protection Department - Highways Department - Government of the Hong Kong Sar; Enero 2003. (http://www.epd.gov.hk/epd/english/environmentinhk/noise/guide_ref/design_barriers_content1.html)
- > N/A, *Guidelines for Selection and Approval of Noise Barrier Products*, ICF International; Julio 2008. ([http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/notesdocs/25-25\(40\)_fr.pdf](http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/archive/notesdocs/25-25(40)_fr.pdf))
- > N/A, *Hormigones Especiales*, Asociación Argentina de Tecnología del Hormigón, Octubre 2004
- > N/A, *Hormigones Arquitectónicos*, ICPA. (http://www.icpa.org.ar/publico/files/hormigon_arquitectonico.pdf)
- > N/A, *TEK MANUAL*, National Concrete Masonry Association, TEK 13-3A, 1999
- > N/A, *TEK MANUAL*, National Concrete Masonry Association, TEK 14-15B, 2004
- > N/A, *Écrans Acoustiques en Béton*, CERIB-FIB-CIM Béton, T45, 2010.
- > Pantallas Acústicas, Asociación Nacional de la Industria de Prefabricados de Hormigón. (<http://www.andece.org/index.php/tiposotras/pantallas-acusticas>)
- > NPCA (<http://precast.org/lookatprecast/>)