

# 1.VIII. COMPORTAMIENTO ACÚSTICO DE FACHADAS FRENTE AL RUIDO AMBIENTE: El Factor Costo - Calidad

Alberto Juan STORNINI

Es intención del presente trabajo evaluar la calidad acústica de algunas fachadas habitualmente utilizadas, confrontarla con sus respectivos costos y estudiar su comportamiento ante los ruidos de tránsito habituales en las ciudades. El tema surgió como ampliación de investigaciones ya realizadas en el marco de la CIC acerca del tema costo-calidad acústica, primeramente aplicadas a muros interiores y luego a entresijos<sup>(1)</sup>.

## PRIMERA PARTE: CONCEPTOS GENERALES

### 1. INTRODUCCIÓN

Las ciudades actuales se ven afectadas crecientemente por las consecuencias que genera el ruido urbano, las que, sin lugar a dudas, deterioran o afectan de manera singular la calidad de vida de sus habitantes. Las fuentes de ruido exterior que afectan a la vivienda urbana se introducen en la misma a través de los elementos más sensibles, que son las fachadas. El ruido exterior que incide en las fachadas llega al hombre como sonido propagado a través del aire. Un adecuado aislamiento acústico permite preservar el confort y salud de los habitantes. Es importante definir conceptualmente el **aislamiento acústico** como la propiedad de los materiales que impide la propagación sonora desde la fuente generadora de ruido hasta el receptor. La fuente generadora es, en este caso, el conjunto de ruidos urbanos, los cuales, fachada mediante, llegan al oído de las personas que habitan la vivienda (receptor).

Tomando esta definición como base, podemos decir, en primera instancia, que el **aislamiento acústico** (D) es la diferencia de niveles sonoros, medida en decibeles, entre el exterior y el interior del recinto.

$$D = N1 - N2 \text{ (dB)}$$

Donde, N1: nivel sonoro exterior.

N2: nivel sonoro interior.

Las actividades que se ven influidas por el ruido ambiental son las manuales, rutinarias, mentales o de reposo. Las dos primeras son poco

afectadas por el ruido, pero las dos últimas sufren fuertemente el efecto del mismo.

Con todo lo antedicho, podemos deducir que nos encontramos expuestos a la contaminación sonora generada en el ambiente, debido a la imposibilidad que tiene el oído de discriminar entre sonidos deseados e indeseados.

Se puede definir al **ruido** como toda señal sonora aleatoria en el tiempo y en la composición espectral, que además no provee información útil. El ruido llega a los centros cerebrales e interfiere con la actividad intelectual y con otras señales sonoras que sí proveen información (palabra, música, etc.).

El problema de la evaluación y el control de la contaminación acústica (ruido o señal acústica no deseada), se centra principalmente en el análisis de la fuente de ruido, la propagación de éste y la recepción auditiva.

El parámetro del ruido que está en juego es la **dosis**, o sea la cantidad de ruido recibido, que computa la intensidad del mismo y el tiempo de exposición.

Es importante destacar que, en los casos en que se someta a una persona a niveles sonoros por debajo de los 60 dBA, no se evidencian lesiones y sólo surgen molestias. Cuando los niveles superan los 80 dBA y el tiempo de exposición es prolongado, puede aparecer, en principio, una disminución transitoria o permanente de la audición, y luego un daño auditivo.

En el ruido comunitario, no solo tenemos una variación en el tiempo de la presión sonora de la fuente, sino que además en cada instante presenta una composición espectral variable, o sea que se suceden ruidos de diversas frecuencias, que afectan de distinto modo al oído. Refiriéndonos en especial al ruido de tránsito diremos que su composición espectral tiene más componentes de baja que de alta frecuencia. Además, en el tiempo aparecen picos de ruido más o menos juntos que corresponden al paso de vehículos que podrían estar en correspondencia con la sincronización de los semáforos o con la cantidad de vehículos en un tiempo dado.

## 2. LA FACHADA

La fachada está constituida por un muro, también llamado **superficie opaca**, y una abertura, ó **superficie transparente**. En la práctica el aislamiento efectivo depende de las propiedades físicas de cada uno de los materiales que constituyen la fachada y de la calidad de la mano de obra. Es importante la ausencia de ranuras en muros y aberturas.

El aislamiento acústico de un elemento de construcción se rige fundamentalmente por la **ley de masa**, que no se detallará aquí. Sintéticamente puede decirse que los mejores aislantes acústicos son aquellos que poseen mayor masa superficial (Kg/m<sup>2</sup>).

La ley de la masa es experimental y aproximada, ya que existen otros elementos implicantes como la estanqueidad, elasticidad, dimensiones, etc., pero su consideración es útil para evaluar rápidamente el aislamiento. A grandes rasgos, el aislamiento varía proporcionalmente al logaritmo de la masa superficial (Kg/m<sup>2</sup>): aumentando la masa de un muro o cerramiento al doble, su aislamiento sonoro crece 4 dB.

Además, el aislamiento sonoro de cualquier elemento constructivo depende de la frecuencia, y es creciente con ella a razón de aproximadamente 4 dB por cada duplicación de frecuencia, lo cual equivale a decir que todos los materiales son mejores aislantes del sonido en altas frecuencias.

### 2.1 LOS MUROS

Están formados habitualmente por un solo material (ladrillo, hormigón, etc). La característica fundamental que deben poseer para brindar un adecuado aislamiento acústico es tener una elevada masa superficial (Kg/m<sup>2</sup>). Otros elementos importantes son:

- la porosidad de los materiales que lo componen.
- la estanqueidad en las juntas entre los elementos.
- la ausencia de fisuras y grietas

### 2.2 LAS ABERTURAS

Las aberturas, puertas o ventanas, son puntos débiles para la intromisión directa del ruido exterior. La debilidad es debida a la masa relati-

vamente baja de los vidrios, bastidores de ventanas y puertas, comparándola con la de los muros tradicionales de ladrillos. Un aumento de la masa de vidrios, marcos y hojas genera una mejora de aislamiento.

Hay otro factor además del peso propio del elemento en cuestión y es la estanqueidad que posea. Es menester acotar que las imperfecciones en la colocación de la abertura, las deformaciones que sufren los materiales debido al paso del tiempo, etc., generan deficiencias en el aislamiento.

El aislamiento de la fachada está condicionada por la superficie de la abertura, salvo en el caso de aquéllas de pequeñas dimensiones.

Las "hojas" están formadas por la carpintería en sí y el vidrio, y estos dos elementos participan del resultado: la carpintería para evaluar su estanqueidad, y el vidrio por su masa superficial, es decir por su espesor.

Las cortinas de enrollar, destinadas al oscurecimiento de partes vidriadas y proteger de los efectos térmicos de la radiación solar, cumplen también funciones de aislamiento sonoro. Entre los elementos que forman parte de la cortina, el taparollo es el elemento que acústicamente ofrece una vía de acceso para los ruidos. Una gran parte de los ruidos penetran por el taparollo en el frente, y de allí se propaga al local. Esta propagación se ve beneficiada cuando el cofre está vacío, es decir cuando la cortina está baja (o sea a la noche).

## 3. MÉTODOS DE MEDICIÓN

### 3.1 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE ABERTURAS

La Norma IRAM 4063<sup>(2)</sup> sugiere 2 métodos para medir el aislamiento acústico de elementos de construcción, como por ejemplo aberturas; uno tradicional, dado en su Parte III, aplicable a cualquier elemento, que requiere la existencia en el laboratorio de 2 locales convenientemente adecuados. La fórmula a utilizar es:

$$R \text{ (dB)} = N1 - N2 + 10 \log SM / A2$$

Donde: R = Índice de reducción sonora

N1 = Nivel sonoro en el local emisor.

N2 = Nivel sonoro en el local receptor

SM = Superficie de la muestra.

A2 = Absorción del local receptor.

El método de la Norma IRAM, que es el mundialmente aceptado, calcula un "valor nor-

malizado", apto para comparar fachadas o sus elementos entre sí, y no para obtener valores reales o absolutos. O sea que la Norma IRAM mide la muestra "colocada en cierto local", que es el laboratorio o el local donde se emplaza la fachada.

### 3.2 MÉTODOS DE MEDICIÓN DE FACHADAS

En cuanto a los métodos de medición de fachadas, en la parte VIII de la Norma citada se proponen dos métodos de medición, ambos muy similares, ya que sólo varían en la forma de generar el ruido externo. En un caso se utiliza ruido generado con parlantes y en el otro se utiliza el mismo tránsito como generador de ruido. La fórmula utilizada es muy similar a la correspondiente a las aberturas:

$$R = N1 - N2 + 10 \log TR2 / 0,5$$

Donde: R = Índice de reducción sonora.

N1 = Nivel sonoro en el local emisor.

N2 = Nivel sonoro en el local receptor.

TR2 = Tiempo de reverberación del local receptor.

Nota: las fachadas se miden siempre "in situ".

## 4. LA CALIDAD ACÚSTICA

La calidad acústica de una fachada será dada por sus elementos constitutivos, o sea el muro y las aberturas que la conformen. Las dos formas más sencillas y eficaces de evaluar la calidad acústica de una fachada son:

- 1) A través del índice Rw, que expresa el aislamiento a los ruidos que posee la fachada. Depende de los materiales usados y forma constructiva.
- 2) Mediante el número único NR, que indica el nivel sonoro percibido por las personas, o sea la sensación sonora. Depende del aislamiento de la fachada y del nivel de ruido externo.

Para ambos cálculos se necesita conocer previamente el "Índice de Reducción Sonora" (R), definido en la Norma IRAM 4063 y que se expresa en forma de tabla y/o gráfico, en decibelios, en función de la frecuencia.

Dicho resultado puede obtenerse en forma directa, midiendo la fachada "in situ", como se indica en la parte VIII de dicha Norma, o puede calcularse midiendo muro y abertura por separado, como elementos constitutivos de la fachada, según se detalla en la parte III de la Norma. Conociendo los Índices R individuales de muro

y abertura y las respectivas superficies, puede calcularse el Índice R de la fachada en conjunto.

Una forma más cómoda de manejar los datos de aislamiento es a través del "Índice de Reducción Sonora Compensado" (Rw), el cual se obtiene usando perfiles deslizantes, siguiendo el procedimiento de la Norma IRAM 4043<sup>(3)</sup>.

No existen valores de Rw aconsejados para una fachada, pero a título informativo diremos que en la Norma IRAM 4044<sup>(4)</sup> se marcan los valores mínimos aconsejados para muros divisorios. Ellos son:

Muros medianeros en viviendas .. Rw = 44 dB

Muros internos en viviendas .....Rw = 37 dB

Como se verá luego, en las fachadas se tienen Rw mucho menores debido a que la inclusión de las aberturas para lograr luminosidad provoca una caída del aislamiento.

Para el cálculo del número NR deben cumplirse tres pasos:

- a) Obtener el espectro del ruido en el exterior de la fachada.
- b) Restar a dichos niveles sonoros la atenuación sonora de la fachada y obtener el espectro de ruido en el interior de la habitación.
- c) Calcular el número NR con el procedimiento dado en la Norma IRAM 4070<sup>(5)</sup>.

En la misma Norma se listan los números NR máximos aconsejados en el interior de viviendas, en distintas situaciones, es decir según la zona sea residencial, industrial u otras, y según sea el destino del local en la vivienda. Listados similares figuran además en Normas DIN<sup>(6)</sup> y trabajos de Leo Beranek publicados en EEUU<sup>(7)</sup>.

En base a ello puede estimarse que en un dormitorio deben existir, como máximo, los siguientes números NR:

|                  |         |
|------------------|---------|
| Zona Industrial  | NR = 40 |
| Zona Comercial   | NR = 35 |
| Zona Residencial | NR = 30 |
| Zona Suburbana   | NR = 25 |

En el caso de un estar se admite un aumento de NR en cinco puntos. Si se supera el NR aconsejado, no se logra un confort acústico razonable.

## SEGUNDA PARTE: EVALUACIÓN DEL FACTOR COSTO-CALIDAD

### 1. MEDICIONES DE ABERTURAS

Las mediciones de ventanas simples y dobles se efectuaron en el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia dependiente de la CIC, de acuerdo a la Norma IRAM 4063. Todas las ventanas fueron montadas en una pared de ladrillos comunes de 30 cm de espesor, la cual posee un aislamiento muy superior al de aquéllas, requisito impuesto por la Norma.

Mediante una hoja electrónica se calculan las tablas de valores de aislamiento (R) con las fórmulas dadas en la Norma, para lo cual se requiere introducir los niveles sonoros, los tiempos de reverberación y la superficie de la ventana. También pueden calcularse los números únicos  $R_w$ , según Norma IRAM 4043.

Las ventanas simples medidas en laboratorio fueron:

VENTANA 0: De chapa doblada, corrediza, sin burletes ni felpas de 1,80 X 1,10 m, con vidrio de 4 mm.

VENTANAS 1 A 5: De aluminio, corredizas, de 1,40 X 1,10 m, con burletes y felpas; vidrios termopanel, laminados y comunes entre 4 y 14 mm.

VENTANAS 6 a 10: De aluminio, oscilante, de 0,80 x 1,10 m, con burletes de goma y vidrios varios de 4 a 14 mm.

VENTANA 11: De aluminio, batiente, con burletes de goma, de 0,80 x 1,10 m y vidrio de 6 mm.

VENTANAS 12 y 13: De aluminio, oscilobatiente, con dobles burletes de goma, de 1,00 x 1,00 m; vidrio de 6 mm y termopanel de 4 + 12 + 4 mm.

Además se midieron ventanas dobles, resultantes de montar 2 ventanas simples de las ya descritas en ambos filos de la pared de soporte. Ellas son:

Ventana D1: Ventana 1 + Ventana 2 Separación de 13 cm.

Ventana D2: Ídem anterior, pero con absorbente interno.

Ventana D3: Ventana 1 + Ventana 3. Con absorbente interno.

Ventana D4: Ventana 2 + Ventana 3. Con absorbente interno.

Ventana D5: Ventana 2 + Ventana 4. Con absorbente interno.

Ventana D6: Ventana 1 + Ventana 5. Con absorbente interno.

Ventana D7: Ventana 2 + Ventana 5. Con absorbente interno.

#### 1.1 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A VENTANAS SIMPLES

Los valores de aislamiento de las 14 ventanas simples medidas pueden expresarse a través de su "Índice de reducción acústica compensado" ( $R_w$ ). Dichos valores resultaron:

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| Ventana 0 ..... | $R_w = 16$ dB |
| Ventana 1 ..... | $R_w = 20$ dB |
| Ventana 2 ..... | $R_w = 22$ dB |
| Ventana 3 ..... | $R_w = 22$ dB |

|                  |               |
|------------------|---------------|
| Ventana 4 .....  | $R_w = 22$ dB |
| Ventana 5 .....  | $R_w = 22$ dB |
| Ventana 6 .....  | $R_w = 29$ dB |
| Ventana 7 .....  | $R_w = 28$ dB |
| Ventana 8 .....  | $R_w = 28$ dB |
| Ventana 9 .....  | $R_w = 28$ dB |
| Ventana 10 ..... | $R_w = 27$ dB |
| Ventana 11 ..... | $R_w = 24$ dB |
| Ventana 12 ..... | $R_w = 32$ dB |
| Ventana 13 ..... | $R_w = 26$ dB |

Comparando el aislamiento de diferentes ventanas simples que usan igual hoja y distinto vidrio, se aprecia que las diferencias de aislamiento son mínimas. La teoría dice que al colocar un vidrio más grueso, o sea de mayor masa superficial, debería mejorar el aislamiento.

Buscando la causa de esta aparente incongruencia se llegó a la conclusión de que una gran parte de la energía sonora que atraviesa la ventana lo hace a través del marco principal y los marcos de las hojas que, en este caso, son huecos. Es por ello que no se logran mejoras ante cambios de vidriado. Puede decirse que en este tipo de ventanas el eslabón débil es la perfilería<sup>(8)</sup>. Dicho de otra forma: cuando la abertura es de baja calidad, es absurdo gastar dinero en vidrios de gran aislamiento.

También se investigó la influencia de una apertura parcial de las ventanas. Una ventana corrediza simple posee los siguientes aislamientos, en función de la apertura:

|                 |               |
|-----------------|---------------|
| Cerrada         | $R_w = 20$ dB |
| Abierta un 25 % | $R_w = 7$ dB  |
| Abierta un 50 % | $R_w = 6$ dB  |
| Marco sin hojas | $R_w = 3$ dB  |
| Hueco sin marco | $R_w = 2$ dB  |

Nótese la gran influencia de la apertura en el comportamiento acústico de la ventana.

El mismo estudio efectuado en las ventanas desplazables condujo al siguiente resultado:

|                   |               |
|-------------------|---------------|
| Cerrada           | $R_w = 29$ dB |
| Abierta al máximo | $R_w = 4$ dB  |
| Hueco sin marco   | $R_w = 1$ dB  |

En este caso la caída de aislamiento es muy grande porque la superficie de apertura es casi total, al contrario que en una ventana corrediza donde la apertura máxima es de 50 %.

#### 1.2 RESULTADOS CORRESPONDIENTES A VENTANAS DOBLES

Analizando los resultados de las mediciones se aprecia que el aislamiento versus frecuencia

es muy variable; muestra dos máximos notables en 500 y 4000 Hz, y mínimos en 100 y 1600 Hz; esto indica que existen resonancias de los vidrios, que son indeseables pero ineludibles, y dependen más de las dimensiones de los mismos que de sus espesores.

Por otra parte se nota la gran influencia del absorbente colocado en la periferia del espacio interno, la cual produce un aumento de  $R_w$  de 32 dB a 37 dB. Las frecuencias donde es notorio este efecto son desde los 250 Hz en adelante, y en especial entre 1000 y 2000 Hz, donde hay una mejora aproximada de 5 dB.

El estudio de la influencia de la apertura parcial (a los efectos de ventilación) en una ventana doble indica que abrir una ranura de 10 cm en cada ventana, aún en extremos opuestos, hace que  $R_w$  caiga de 37 dB a 18 dB, cifra muy importante sabiendo que el aislamiento de una ventana simple es  $R_w = 22$  dB. Es decir: abrir ranuras de 10 cm en cada ventana doble la convierten en peor que una ventana simple.

Las ventanas dobles estudiadas tuvieron los índices  $R_w$  indicados a continuación:

|                  |               |
|------------------|---------------|
| Ventana D1 ..... | $R_w = 32$ dB |
| Ventana D2 ..... | $R_w = 37$ dB |
| Ventana D3 ..... | $R_w = 36$ dB |
| Ventana D4 ..... | $R_w = 36$ dB |
| Ventana D5 ..... | $R_w = 36$ dB |
| Ventana D6 ..... | $R_w = 36$ dB |
| Ventana D7 ..... | $R_w = 36$ dB |

## 2. MEDICIÓN DE FACHADAS

### 2.1 CALCULO DEL AISLAMIENTO DE FACHADAS

El aislamiento de una fachada depende del aislamiento de cada uno de sus componentes (muro y abertura), y de las respectivas superficies.

El Índice de Reducción Sonora de una fachada compuesta por materiales no homogéneos resulta de la siguiente fórmula:

$$R_f = 10 \log \frac{S_t}{10^{-\frac{(R_m/10)}{S_m}} \times S_m + 10^{-\frac{(R_a/10)}{S_a}} \times S_a}$$

Donde:  $S_t$ : Superficie total de la fachada.  
 $R_m$ : Índice del muro  
 $S_m$ : Superficie del muro.  
 $R_a$ : Índice de la abertura  
 $S_a$ : Superficie de la abertura.

Se aclara que este cálculo se efectúa en todas las bandas de frecuencia utilizadas, ya que en cada una son diferentes los índices del muro y de la abertura ( $R_m$  y  $R_a$ ).

### 2.2 SELECCIÓN DE LAS FACHADAS A EVALUAR

Se dispone de valores de aislamiento de 7 fachadas medidas "in situ" por el Laboratorio de Acústica y Luminotecnia en viviendas colectivas e individuales. El mismo Laboratorio ha medido las características acústicas de 9 tipos de muros, de ladrillos macizos y huecos, y de hormigón. Además, en ese lugar se está realizando una investigación acerca de características acústicas de ventanas, habiendo medido a la fecha 13 simples y 6 dobles, cuyo resultado ya fue expuesto.

Es por ello que se puede acceder a valores de 7 fachadas medidas directamente y de gran número de fachadas "conformadas" que resultan de combinar cada muro con una abertura, donde el resultado de su aislamiento se obtiene en forma indirecta.

Entre los muros se eligieron 3, que son los más comunes y representativos de la situación real y presentan 3 tipos constructivos muy diferentes; ellos son:

- M1) De ladrillos huecos de 18 cm, revocado, total 23 cm.
- M2) De ladrillos macizos de 12 cm, revocado, total 15 cm.
- M3) De hormigón de 12 cm, salpicado, total 17 cm.

Para seleccionar las ventanas a utilizar en la conformación de fachadas simuladas, se tuvo en cuenta que en las ventanas similares medidas, el hecho del cambio de vidrio no aporta una mejora apreciable en su calidad acústica, por lo que de las 5 disponibles entre las corredizas y de las 5 entre las desplazables, se eligieron solamente 2 de cada tipo (la mejor y la peor). En total fueron elegidas 8 ventanas, designándolas con las letras a-h.

Las fachadas medidas directamente se numeraron del 1 al 7, y a las conformadas en base a mediciones indirectas se le asignaron los números que figuran a continuación:

| Ventanas | M1 | M2 | Muros |
|----------|----|----|-------|
|          |    |    | M3    |
| a        | 8  | 16 | 24    |
| b        | 9  | 17 | 25    |
| c        | 10 | 18 | 26    |
| d        | 11 | 19 | 27    |
| e        | 12 | 20 | 28    |
| f        | 13 | 21 | 29    |
| g        | 14 | 22 | 30    |
| h        | 15 | 23 | 31    |

Por lo tanto, montando matemáticamente las 8 ventanas en los 3 muros elegidos se conformaron 24 fachadas, lo que sumado a las 7 medidas directamente produce un total de 31 fachadas a evaluar.

### 3. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA RELACIÓN COSTO-CALIDAD

#### 3.1 CALCULO DEL PUNTAJE

Cada fachada tendrá un puntaje total que tendrá en cuenta 3 factores:

- a) **Costo:** Se calculan los costos de todas las fachadas y se las ubica en una escala de 0 a 100 donde, a la de menor costo se le asigna puntaje 100; a la de mayor costo, puntaje 0; y a las demás, números intermedios proporcionales.
- b) **Número Rw** (Índice de reducción sonora compensado): Mide el aislamiento acústico. Depende del tipo constructivo de la fachada. Se calculan todos los Rw referidos a 10 m<sup>2</sup>, asignando a cada fachada un puntaje entre 0 y 100, pero siendo 100 el correspondiente al mayor Rw, ya que un número Rw alto significa mejor calidad acústica. Las fachadas intermedias tendrán puntajes proporcionales al valor de su respectivo número Rw.
- c) **Número NR** (Noise Rating). Mide la sonoridad de un ruido, o sea la sensación sonora producida. Depende del ruido externo y de las características de la fachada. También se calculan los números NR resultantes del espectro de ruido interior y se ordenan las fachadas según esos números fijando puntaje 0 para el NR mayor y 100 para el menor, siendo éste el que representa la mejor calidad acústica de la fachada pues expresa que el espectro de ruido dentro de la vivienda es mínimo.

A los efectos de darle igual peso al puntaje por costo y al puntaje por calidad acústica conviene promediar los puntajes por Rw y por NR, designando al resultado "puntaje por calidad". El puntaje total será la suma del puntaje por costo y del puntaje por calidad, y aquella fachada que posea mayor puntaje total será la óptima teniendo en cuenta los 3 factores considerados.

Además, si sólo se deseara conocer cuál es la fachada de mejor calidad acústica, prescindiendo del costo, bastará con buscar la de más puntaje por calidad. Algo similar sucede con los

costos, es decir que puede buscarse la fachada más barata sin importar su calidad acústica.

#### 3.2 SELECCIÓN DE ESPECTROS DE RUIDO

Entre los 6 espectros de ruido disponibles, se eligió uno de nivel intermedio, medido en un tercer piso, en una calle comercial céntrica de 25 m de ancho y edificios de varios pisos, con automóviles y ómnibus, a 3m del carril más próximo (6 carriles para tránsito). Dicho espectro tiene un nivel sonoro de 83.1 dB ó de 77.4 dBA, y un NR de 74.

#### 3.3 PROCESO DE EVALUACIÓN

##### **Cálculo de costos:**

El costo de la fachada resulta de sumar el costo del muro al costo de la abertura.

Una vez conocidos los materiales que conforman cada muro y sus dimensiones se pasó a consultar las tablas de costos que figuran en la revista Vivienda, introduciendo los rubros necesarios en una base de datos. Sabiendo las dimensiones del muro y sus componentes se puede calcular el costo real del mismo.

Surge en este punto una duda en cuanto a tomar la fachada en su dimensión real o ajustarla a 10 m<sup>2</sup>. Además la reducción puede hacerse de 2 formas: reducción proporcional de superficies de muro y abertura ó reducción de la superficie del muro, manteniendo las dimensiones de la abertura.

Conviene acotar que las características acústicas de una fachada quedan definidas fundamentalmente por la abertura, por lo que al redimensionar ésta cambian las propiedades del conjunto. Además, no se puede asegurar que el costo de la abertura sea proporcional a su tamaño. Es por ello que conviene calcular el costo de la fachada manteniendo la abertura en sus dimensiones originales.

Quedan entonces dos posibilidades de cálculo:

- Con superficies de muro y abertura reales.
- Ajustando la superficie del muro y manteniendo la de la abertura, de modo que sumen 10 m<sup>2</sup>.

Si se cambia el costo del muro mediante un ajuste del tamaño, también se cambia el puntaje, por lo que es conveniente trabajar con dimensiones reales de los muros.

Este procedimiento se empleó para las 7 fachadas medidas directamente, que tienen superficies cualquiera. Para las restantes, el cálculo del costo se hizo en base a un total de 10 m<sup>2</sup>, ajustando el tamaño del muro y manteniendo las dimensiones de la abertura.

**Cálculo del Índice de Reducción Sonora Compensado (Rw):**

- Para fachadas medidas directamente:
 

Se debe disponer de la tabla de valores de R en función de frecuencia obtenidos mediante el procedimiento de la Norma IRAM 4063, Parte VII. En nuestro caso conocemos estos índices para las bandas de tercios de octava que van desde 100 Hz a 5000 Hz. Con los 16 primeros valores se entra en el proceso de la Norma IRAM 4043, de evaluación mediante perfiles deslizantes, y se obtiene el índice Rw correspondiente a cada fachada. Luego, mediante la fórmula ya vista se calcula Rw10.
- Para fachadas medidas indirectamente (muro y abertura por separado):
 

Tomando las tablas de valores de los índices Rm del muro y Ra de la abertura, ambos obtenidos en laboratorio, y conociendo las respectivas áreas de cada elemento constructivo, se calcula el índice Rf de la fachada con la fórmula del aislamiento no homogéneo. A esta altura se dispone de los valores tal como si se hubiera medido la fachada directamente, por lo que se sigue el procedimiento ya descripto, es decir el cálculo de Rw y Rw10.

**Cálculo del número NR (Noise Rating):**

Se poseen los datos del espectro de ruido externo elegido, el cual viene dado por los niveles sonoros en dB para las 18 bandas de tercios de octava que van de 100 Hz a 5000 Hz. A este espectro se le resta en cada banda el valor del índice Rf de la fachada, obteniéndose el espectro de ruido en el interior del edificio, que es el que debe evaluarse.

Dicho proceso se realiza siguiendo lo expuesto en la Norma IRAM 4070, y consiste en superponer el espectro en cuestión sobre una familia de curvas y verificar cuál es la curva más alta alcanzada. El número que posee esta curva es el NR buscado.

Se dice que una fachada es acústicamente mejor cuanto menor sea el NR en el interior del edificio. Cabe recordar que nos estamos refiriendo siempre al mismo ruido exterior incidente sobre cada fachada, que posee un NR de 74.

**3.4 ANÁLISIS DE PUNTAJES PARA LA TOTALIDAD DE LAS FACHADAS**

Siguiendo el procedimiento ya detallado se calculó el aislamiento, el índice Rw10 y el número NR para las 31 fachadas seleccionadas para el trabajo. Se calcularon luego los puntajes por calidad acústica, por costo y totales de cada fachada (Fig. 1) y se las ordenó según puntajes totales decrecientes.

Resumiendo esta información, se mencionan las dos fachadas ubicadas en los puntajes extremos, teniendo en cuenta costo, calidad o ambos.

|                       | Mejores   | Peores    |
|-----------------------|-----------|-----------|
| Según costo.....      | Nº 5 y 4  | Nº 1 y 31 |
| Según calidad.....    | Nº23 y 15 | Nº 3 y 7  |
| Según costo-calidad.. | Nº22 y 14 | Nº 1 y 24 |

La composición de las mejores fachadas es la siguiente:

- La Nº 22 se forma con muro de 15 cm y ventana oscilobatiente de 1 m<sup>2</sup> con vidrio de 6 mm
- La Nº14 se forma con muro de ladrillos huecos revocados, de 23 cm y ventana oscilobatiente de 1 m<sup>2</sup> con vidrio de 6 mm.
- La Nº 23 se forma con muro de 15 cm y ventana corrediza doble con ambos vidrios de 4 mm.
- La Nº 15, con muro de 15 cm y ventana corrediza doble con ambos vidrios de 4 mm

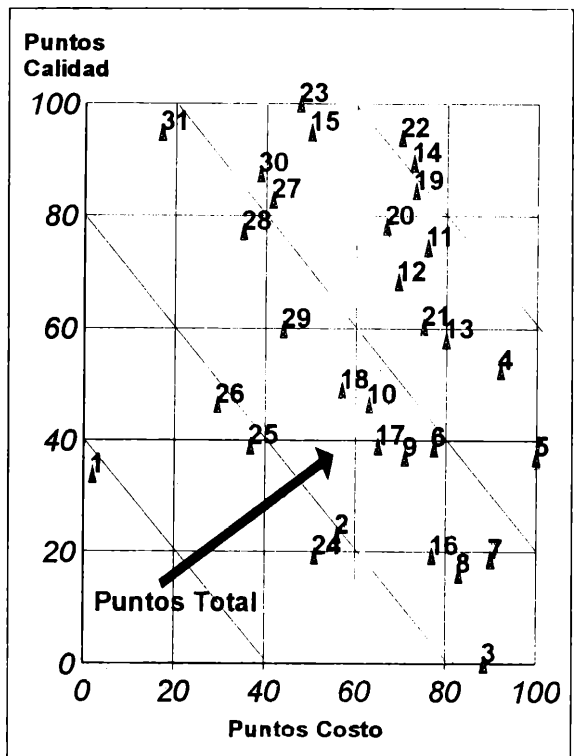


Figura 1: Puntajes de las fachadas

- La N° 5 fue medida directamente "in situ"; muro de ladrillos huecos salpicado, de 21 cm, ventana corrediza de chapa de 1,80 m<sup>2</sup> con vidrios de 3 mm, sin cortina.
- La N° 4, idem anterior, pero con cortina de enrollar.

Si se centra el análisis en el puntaje total, las demás fachadas poseen puntajes decrecientes en forma muy suave, por lo que existen varias que también son aptas para lograr una buena relación costo-calidad. Se listan las mejores fachadas con sus puntajes totales.

|     |      |       |
|-----|------|-------|
| 1ª  | N°22 | 164 p |
| 2ª  | N°14 | 162 p |
| 3ª  | N°19 | 158 p |
| 4ª  | N°11 | 150 p |
| 5ª  | N°23 | 147 p |
| 6ª  | N°20 | 145 p |
| 7ª  | N°15 | 145 p |
| 8ª  | N° 4 | 145 p |
| 9ª  | N°13 | 138 p |
| 10ª | N°12 | 138 p |

Se recuerda que la peor fachada (31ª) es la N°1, y tiene un puntaje de 34. Además, el puntaje máximo teórico es de 200.

### 3.5 ANÁLISIS DE LOS ÍNDICES RW

Estudiando el comportamiento de  $R_w$  se deduce que:

- Como el aislamiento de los 3 muros elegidos es similar, una misma ventana montada en cada uno de ellos da como resultado aislamientos casi iguales.
- Diferentes ventanas montadas en igual muro conducen a obtener aislamientos de fachada proporcionales al de la ventana usada.

Esto confirma que las ventanas imponen las características a la fachada, a pesar de tener superficies mucho menores que el muro de montaje. Téngase en cuenta que se tomaron fachadas de 10 m<sup>2</sup>, y que las ventanas poseían superficies entre 0,88 y 1,98 m<sup>2</sup>, es decir que ellas sólo ocupaban entre 9 y 20% de la fachada.

Conviene recordar que el aislamiento de la fachada se rige por la fórmula del aislamiento combinado (que toma como datos a los aislamientos individuales y a las respectivas superficies) y que las aberturas elegidas poseen índices  $R_w$  8 a 30 dB menores a los de los muros.

Entrando en detalle, puede decirse que la ventana de menor calidad montada en cualquiera de los 3 muros produce un  $R_w = 23,4$  dB, de lo que se deduce que para este tipo de ventana no

interesa el muro de montaje; siempre se arriba a resultado acústico similar (mediocre).

Para el caso de una ventana de alta calidad acústica, evidentemente se obtienen valores de  $R_w$  más altos, pero como en este caso su aislamiento se acerca hasta 8 dB al correspondiente al del muro circundante, se notan pequeñas diferencias (de 1 dB) en el aislamiento final debidas al uso de uno u otro muro.

Ambas situaciones confirman entonces que, empleando muros comunes, medianamente buenos (como los adoptados), **es la abertura quien define la calidad de la fachada**. Este efecto sería aún más notorio si se adoptaran aberturas de gran superficie, tales que abarquen el 40 ó 60 % de la fachada.

### 3.6 ANÁLISIS DE LOS NUMEROS NR

Los números NR varían entre 33 (mejor) y 57 (peor).

Si se recuerda que el valor aconsejado para un dormitorio en zona comercial es de  $NR = 35$  o menos, las fachadas apropiadas para esta situación serían solamente las: N° 14, N° 15, N° 22, N° 23 y N° 31. (\*)

### 3.7 ANÁLISIS DE LOS PUNTAJES TOTALES

Se mencionó que las dos mejores fachadas en cuanto a costo-calidad son la N° 22 y la N° 14, pero las 6 que le siguen también poseen buen puntaje (más del 88% del máximo); ellas son:

- N° 19: Muro: 15 cm; ventana oscilante: 0,88 m<sup>2</sup>.
- N° 11: Muro de 1º hº: 23 cm; ventana oscilante: 0,88 m<sup>2</sup>.
- N° 23: Muro: 15 cm; ventana corrediza doble: 1,54 m<sup>2</sup>.
- N° 20: Muro: 15 cm; ventana ventana oscilante: 0,88 m<sup>2</sup>.
- N° 15: Muro de 1º hº: 23 cm; ventana corrediza doble: 1,54 m<sup>2</sup>.
- N° 4: Muro de 1º hº: 21 cm; ventana de chapa: 1,80 m<sup>2</sup>.

Puede decirse que estas 8 fachadas son aptas para un proyecto donde deba conjugarse buena calidad acústica y bajo costo.

Cabe destacar que este análisis es válido sólo para el ruido externo supuesto. Sin embargo,

(\*) Nota: Se sabe que el número NR depende no sólo de la fachada sino también del espectro de ruido exterior. Para estos cálculos se adoptó un ruido típico de zona comercial. Si se eligiera un ruido más bajo, como el existente en una zona residencial, bajarían también los NR de todas las fachadas, pero se los debería comparar con el valor aconsejado para esta zona, que es:  $NR = 30$  o menor.



podría aplicarse en una zona con ruido diferente, a pesar del cambio de los números NR y la consiguiente variación de la calidad acústica. Supongamos que esta misma serie de fachadas soporta un ruido más alto pero de composición espectral similar; los números NR serían mayores, y el puntaje por calidad acústica menor, pero el ordenamiento en cuanto a puntajes sería el mismo, es decir que la fachada N° 22 seguiría siendo la mejor y la N° 1 la peor.

Consecuentemente, el análisis realizado es válido, con pequeñas reservas, para todo tipo de ruido de tránsito.

Si se analiza el otro extremo de la tabla aparecen las fachadas no recomendables; ellas son:

La N°1, con 34 puntos: aunque parezca asombroso, es una fachada habitual en viviendas tipo chalet, pero encabeza la lista de inadecuadas, lo cual puede explicarse con dos argumentos:

- Sus grandes dimensiones y tipo constructivo la hacen la más cara de la lista.
- Su calidad acústica la ubica en 6° lugar entre las peores. Está construida con buenos materiales, pero debido al tamaño de la abertura (3,4 m<sup>2</sup>) resulta muy permeable a los ruidos externos.

Es un típico caso donde para lograr luminosidad y visuales adecuadas se ha caído en alto costo y baja calidad acústica.

Le siguen en la lista, pero alejadas, la fachada N° 26 con 65 puntos y la N° 2 con 79 puntos.

La N° 24 está formada por muro de hormigón (alto costo) y ventana corrediza de 1,98 m<sup>2</sup> (baja calidad acústica). Estos dos factores negativos justifican su ubicación.

La N° 25 posee el mismo muro y la ventana utilizada es corrediza de 1,54 m<sup>2</sup>, ambos factores desfavorables. Aquí predominan los aspectos negativos de la abertura frente a los del muro, que son aceptables.

#### 4 CONCLUSIONES

La teoría del aislamiento combinado indica que la fachada ideal es aquella donde el aislamiento de muro y abertura son iguales. En ese caso la superficie de la abertura es indiferente.

En la práctica esta igualdad no se alcanza nunca. Dados los valores usuales, es difícil y poco lógico adoptar aberturas sofisticadas, de tan alta calidad que aislen lo mismo que los

muros de montaje. Es por eso que debe llegarse a una solución de compromiso, con aberturas más sencillas pero de menor tamaño.

Las aberturas estudiadas poseen aislamientos de 8 a 30 dB menores a los correspondientes a los muros de montaje; considerando los respectivos tamaños, el aislamiento del conjunto resulta de 5 a 10 dB mayor que el de la abertura y de 3 a 23 dB menor que el de los muros.

Cuando la abertura es de baja calidad y/o grande, el aislamiento final se aproxima más al de ella y se aparta del correspondiente al muro. En caso opuesto, el aislamiento total es cercano al del muro.

Para fijar conceptos se darán los valores reales de los índices Rw de dos fachadas muy diferentes, (con distintas aberturas en igual muro) los de sus componentes individuales y las diferencias respectivas.

|                      | Abertura<br>buena | Abertura<br>mediocre |
|----------------------|-------------------|----------------------|
| Rw muro              | 46                | 46                   |
| Rw abertura          | 36                | 16                   |
| Rw fachada           | 42                | 23                   |
| Difer. muro-abertura | 10                | 30                   |
| Difer. muro-fachada  | 4                 | 23                   |

Se aprecia que cuando se usa una abertura mediocre (Rw 30 dB menos que el muro), el Rw de la fachada cae 23 dB por debajo del muro. En cambio, con la abertura de buena calidad (Rw 10 dB menos que el muro), el aislamiento de la fachada es sólo 4 dB menor que el del muro.

Los muros usados habitualmente cumplen sobradamente con los requerimientos acústicos; el de ladrillos macizos de 15 cm es el más adecuado, pero también con el de ladrillos huecos de 23 cm se logran buenos resultados. Si se usara muro de 30 cm (aquí no analizado) puede obtenerse mejor calidad acústica (Rw sube aproximadamente 4 dB) pero esto debería acompañarse con una cuidada selección de la abertura, de lo contrario no se justificaría el costo adicional.

El muro de hormigón no es recomendable por su costo mayor, con calidad acústica similar a los anteriores.

Las aberturas son evidentemente quienes definen la relación costo-calidad óptima. Eligiéndolas con buen criterio pueden obtenerse grandes aumentos de calidad acústica con relativamente poco incremento de costo.

A grandes rasgos diremos que el factor más importante es la ausencia de rendijas (con lo cual las ventanas corredizas quedan descartadas).

La zona de contacto de la hoja deberá estar obturada con un buen burlete, siendo beneficiosos, por su mejor sellado, los de goma respecto a los de espuma.

Son preferibles las aberturas con marcos macizos (madera) y no los huecos (aluminio o chapa doblada) ya que éstos propagan el ruido más fácilmente debido a su baja masa.

En cuanto al tamaño, es evidente que debería ser el menor posible siempre que esto fuera compatible con los standards de iluminación y ventilación naturales requeridos. En base a los cálculos efectuados, puede decirse que se logran buenos resultados con aberturas de 1 a 1,5 m<sup>2</sup>; si se llega a 3 m<sup>2</sup> la calidad acústica decrece notablemente.

Los vidrios más adecuados son los comunes, de gran espesor (6 mm), o los laminados de 3+3 ó 3+4 mm. No se logra mejora con los de tipo termopanel ya que las resonancias propias desvirtúan el aislamiento.

Por último, debe agregarse que las fachadas son elementos constructivos no homogéneos que tienen requerimientos múltiples: estructurales, de cerramiento, de aislación térmica, hidrófuga, acústica, etc. Por lo tanto habrá que considerar y priorizar este conjunto de funciones según el caso, de modo de optimizar la calidad integral de la fachada y obtenerla al menor costo posible.

## NOTAS

- 1- En este sentido, pueden consultarse los trabajos realizados por Beatriz AMARILLA, publicados bajo los siguientes títulos:  
*Aspectos económicos del aislamiento acústico*. Revista Informes de la Construcción, Instituto Eduardo Torroja. Vol 42, N° 410. Madrid, 1990.  
*Costo y aislación acústica en muros divisorios*. Revista Vivienda N 338, setiembre de 1990 [41-45].  
*Influence of Compactness on Housing Sound Insulation Costs*. Applied Acoustics. Vol. 35, N 3, Elsevier Applied Science, England, 1992 [202-219].  
*Costo y aislamiento a ruidos de impacto*. Revista Vivienda N 381, Buenos Aires, marzo de 1994 [129-132].  
*Aspectos económicos del aislamiento a ruidos de impacto en viviendas colectivas*. En: Anales del I Congreso Brasil-Argentina y XV Encuentro de la SOBRAC. Florianópolis, Brasil, 1994: [498-501]
- 2 - Norma IRAM 4063 "Transmisión de sonidos en edificios", 1982
- 3 - Norma IRAM 4043 "Clasificación de aislación del sonido en edificios y elementos de edificios", 1984.
- 4 - Norma IRAM 4044 "Aislamiento acústico mínimo en tabiques y muros", 1985.
- 5 - Norma IRAM 4070 "Procedimiento para la evaluación de ruidos utilizando las curvas NR", 1986
- 6 - Norma DIN 4109 Parte 2, "Noise control in buildings requirements", 1983
- 7 - BERANEK L. et al *Preferred noise criterion (PNC) curves and their application to rooms*, en JASA Vol 50, 1971, [1223].
- 8 - STORNINI A. *Investigaciones sobre aislamiento acústico de entresijos y fachadas*. Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, 1994. Informe anual.

## BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- BERANEK L. *Acústica*. Editorial H.A.S.A. 1961.  
MYNCKE H. *Le calcul de la sonie et les niveaux de bruit admissibles*, Bruselas, 1966.  
DE LANGE P. A. *Sound insulation of glazing with respect to traffic noise*, en Applied Acoustics Vol 2, 1969, [215].  
KNUDSEN V.O. *Architectural acoustics*.