



EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE PERCUSIÓN, REGISTRO DE SEÑAL SONORA Y POSTERIOR ANÁLISIS ESPECTRAL PARA LA VERIFICACIÓN DE LA ADHERENCIA DE APLACADOS DE PIEDRA COMO REVESTIMIENTO ENCOLADO EN FACHADAS URBANAS EN ALTURA

Zamora-Mestre, J. Ll. (1)(*), Garcia Hernández, M. J. (2)

***(1) ETS Arquitectura del Vallès (UPC), Sant Cugat del Vallès,
Spain***

***(2) ETS Enginyers de Telecomunicacions de Barcelona (UPC),
Barcelona, Spain***



Departament de Construccions
Arquitectòniques I

CA1

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

1 PRESENTACIÓN (1)

Desde hace años se van produciendo con alarma casos de desprendimiento al vacío de aplacados de piedra natural que revisten los paramentos altos de fachadas situadas en entornos urbanos. Se trata de aplacados adheridos al soporte mediante pastas de mortero de cemento. Este tipo de anomalía se produce sin aviso y presenta un gran daño potencial para las vidas humanas. Se plantea pues, después del accidente, la necesidad de disponer de una técnica simplificada para evaluar “in situ” el estado real de adherencia del resto de placas que no se han desprendido.



1 PRESENTACIÓN (2)

Las técnicas derivadas de la evaluación de sonidos presentan de entrada un gran potencial de verificación de la continuidad en medios sólidos. Considerando el tema que nos ocupa se ha optado por aplicar inicialmente la técnica de impacto (golpeo de la pieza en diversos puntos mediante martillo) por su facilidad para ser implementada con las técnicas de acceso a fachadas actualmente disponibles, normalmente cestas de auto grúas hidráulicas, evitando así las incomodidades que supone el uso de cableados, fuentes de alimentación, etc. que precisaría la técnica de ultrasonidos. En esta ponencia se plantea una primera evaluación de los resultados obtenidos en una fachada real situada en un entorno urbano consolidado, en la que nuestro equipo fue solicitado tras un episodio local de desprendimiento



2 METODOLOGÍA (1)

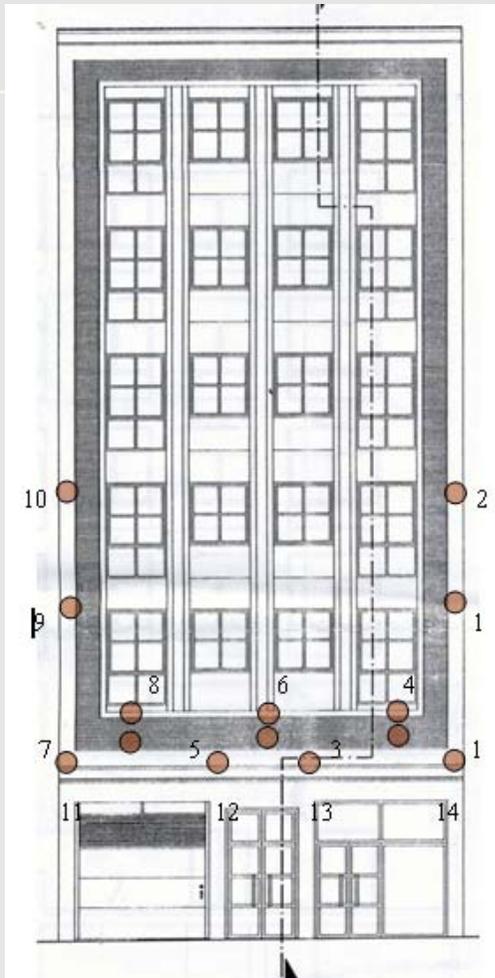
Esta técnica se basa en el hecho físico, experimentado por todo el mundo, consistente en la diferencia de sonoridad a la percusión que presentan las placas adheridas directamente a un soporte cuando se golpean, si están o no totalmente adheridas a dicho soporte.

La experiencia sensible nos dice que al percutir simplemente con los nudillos de la mano un aplacado adherido por encolado de pasta de mortero, éste “suena diferente” si está perfectamente adherido, parcialmente adherido o prácticamente desprendido y a punto de caer.

Esto es debido al hecho de que cuando se inicia total o parcialmente la pérdida de adherencia de una placa encolada a su soporte se genera a la vez una lámina de aire entre los dos (placa y soporte), la cual dificulta tanto la transmisión mutua del sonido como también modifica la frecuencia de resonancia de la placa. La formación progresiva de la lámina de aire libera a la placa de las restricciones a la vibración libre que suponía la plena adherencia inicial al soporte.

2 METODOLOGÍA (2)

Se propone entonces repetir esta experiencia pero utilizando una metodología y unos aparatos que permitan registrar los resultados obtenidos y analizarlos posteriormente mediante un software adecuado. Finalmente se tratará de establecer una relación entre los resultados obtenidos y el estado de adherencia de las piedras.



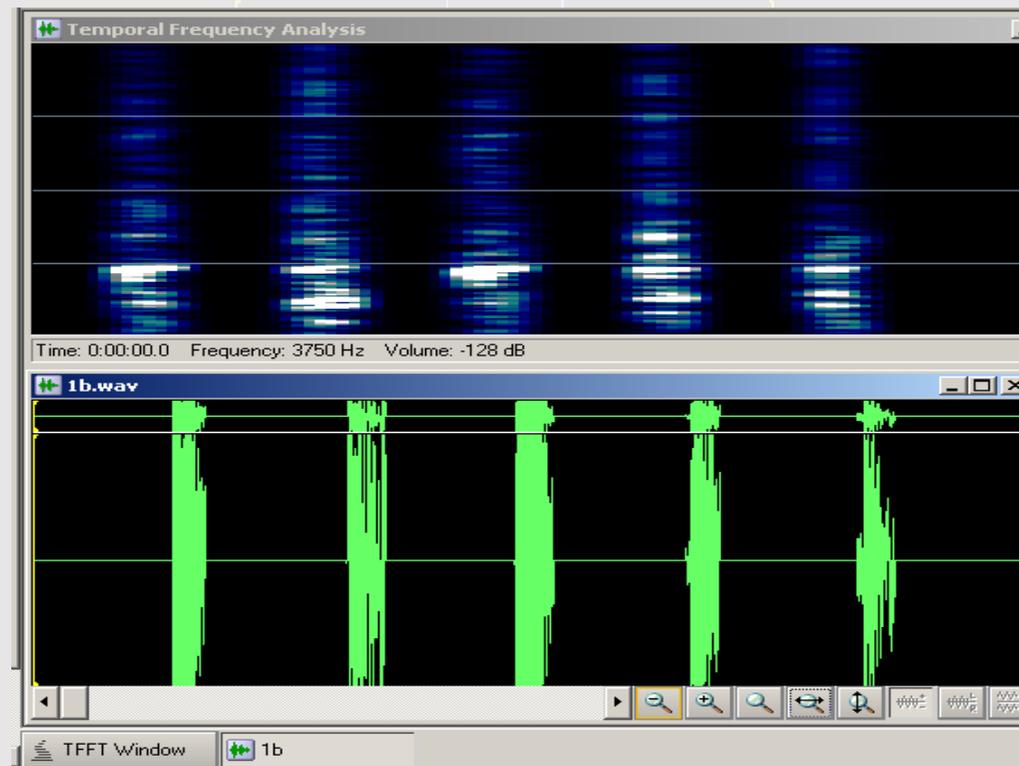
Se establecieron 4 grupos de estudio en función del tipo de piedra, su conformación constructiva y su posición en el edificio.

Los puntos de impacto estaban situados a unos 10 cm aproximadamente de los bordes libres de cada placa. Para aumentar la certeza de cada medida se realizaron dos registros más por cada punto de impacto, escogiendo para su interpretación el que presentaba una menor interferencia por causa del ruido ambiental.

Se percutieron las placas de piedra natural indicadas con un círculo, hasta un total de 14 placas, con un total de 70 registros (5 puntos por placa)

2 METODOLOGÍA (3)

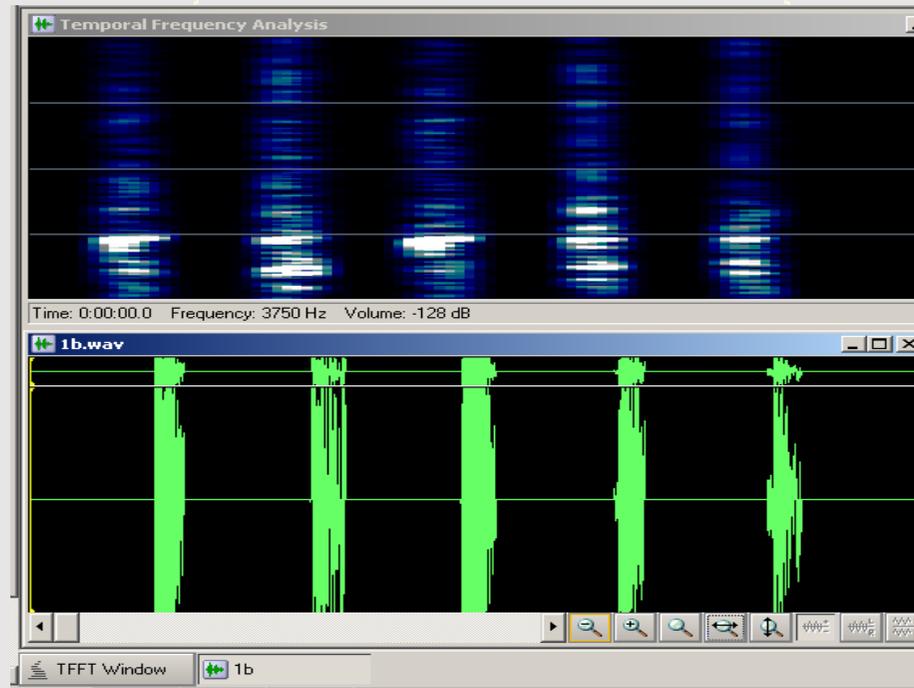
Los registros acústicos aéreos de cada percusión (5 por placa) fueron registrados en formato de fichero “wav”, y se obtuvieron mediante un PDA sostenido a 20 cm. de distancia de la superficie de las placas. Se aislaron aquellos segmentos acústicos de cada impacto con una relación señal-ruido superior a 12 dB y duración entre 20 y 40 ms. Estos segmentos fueron montados entre segmentos de silencio de 100 ms para su mejor procesado digital posterior, sin la utilización de ningún tipo de enmarcado. Para el procesado y análisis de la señal acústica se ha utilizado el software “WavwPad”. La figura adjunta recoge dos diagramas temporales de las 5 percusiones realizadas sobre una misma placa.



2 METODOLOGÍA (4)

El diagrama en color verde (inferior) corresponde a la amplitud (intensidad sonora) de la señal (eje vertical) registrada en función del tiempo (eje horizontal)

El diagrama en color azul (superior) corresponde a la distribución frecuencial (espectro) de la señal (eje vertical) registrada en función del tiempo (eje horizontal). Esta representación se denomina sonograma y fue obtenida mediante TFFT (Temporal Fast Fourier Transform). En un sonograma el eje vertical corresponde a la frecuencia (en el rango de 0 a 4000 Hz, con divisiones visibles cada 1000 Hz), el horizontal al tiempo y el brillo (más claro o más oscuro) de cada punto de la imagen a la intensidad sonora de cada frecuencia en cada uno de los instantes de registro.



2 METODOLOGÍA (5)

En el caso de la placas lisas de piedra fijadas al soporte con pastas adhesivas de cemento-cola, la resistencia mínima al arranque a tracción (actualmente según normativa de aplicación $> 0,5 \text{ N/mm}^2 = 5 \text{ Kg/cm}^2$) es el parámetro que delimita el riesgo de desprendimiento.

Para que un aplacado de piedra natural resista esta tensión de arranque se tienen que producir necesaria y simultáneamente dos condiciones:

- Existencia de máxima superficie de contacto entre la placa y el soporte a través de la pasta adhesiva.
- Suficiente resistencia de esta superficie de adherencia a través de los contactos placa -pasta adhesiva- soporte.

La técnica de reconocimiento aplicada en este caso intenta verificar el grado de cumplimiento de la primera condición, pues si esta condición no se cumple suficientemente tampoco se puede cumplir la segunda. La existencia de suficiente contacto adherente entre la placa y el soporte a través de la pasta es por tanto una condición necesaria pero no suficiente.

2 METODOLOGÍA (6)

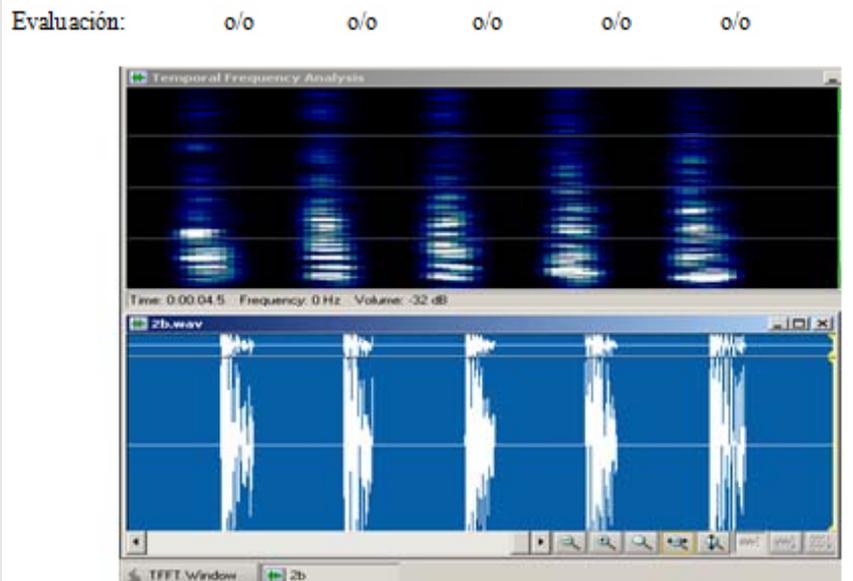
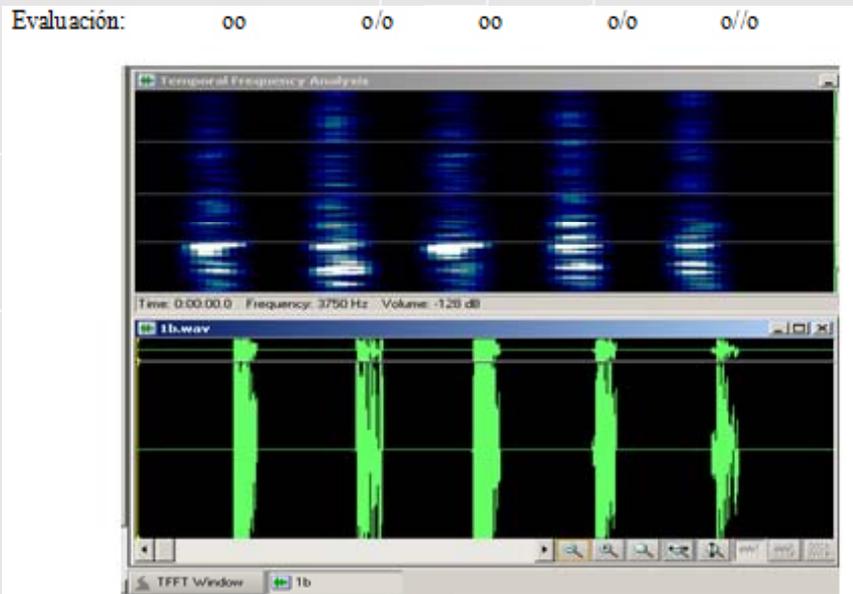
Previamente al inicio de la campaña se realizó un calibrado del procedimiento descrito consistente en percutir diversas placas del aplacado de la planta baja con un martillo y se valoró subjetivamente, tal como hacen los albañiles, su adherencia en función del sonido aéreo resultante (suena vacío o no) y de la vibración de la placa (vibra solidariamente con el soporte o vibra como separada “independientemente”).

El sonograma de la señal acústica correspondiente a las placas que subjetivamente estaban adheridas mostraba un espectro concentrado alrededor a 1350 Hz (posible frecuencia natural de resonancia mecánica de las placas).

El sonograma correspondiente a las placas no adheridas mostraba una dispersión más grande de frecuencias en una banda comprendida entre 200 y 3400 Hz. El sonograma correspondiente a placas no adheridas mostraba también una frecuencia central de resonancia de 630 Hz, que es algo menos de la mitad que en el caso de las placas bien adheridas.

El sonido aéreo a la percusión de las placas no adheridas tiene una duración de 70 ms que es algo superior a los 60 ms habitual en el caso de placas bien adheridas.

2 METODOLOGÍA (7): Se establecieron 3 categorías de valoración de la adherencia asociables al análisis de los sonogramas de las percusiones, válidos en un círculo de radio 15-20 cm alrededor del punto de impacto:



“oo” (adherencia).- No aparecen en el espectro componentes significativos por debajo de 500 Hz.
“o/o” (semidesprendida-semiaderida).- Aparece una mayor dispersión y además varios modos de resonancia simultáneos en la mayor parte del espectro analizado, siendo bastante importantes los que corresponden a frecuencias iguales o menores a 500 Hz.
“o//o” (desprendida).- Aparecen importantes componentes de frecuencia por debajo de los 500 Hz y muy escasos por encima de los 1000 Hz. Se interpreta como la existencia de zonas ya totalmente desprendidas.

3 APLICABILIDAD (1)

Tabla 1.- resumen de la evaluación del aplacado de mármol <u>Sant Vicenç</u>							
Posición explorada		Evaluación de la posición percutida					Evaluación global de la adherencia de la placa (1)
		1 * * *	* 2 * *	* * 3 * *	* * 4 *	* * * 5	
W	E						
10		o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
9		o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
	2	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	o/o
	1	<u>oo</u>	o/o	<u>oo</u>	o/o	o/o	o/o
Evaluación global de la adherencia de la posición (2)		o/o	o/o	o/o	o/o	o/o	

A partir de esta tabla resumen se pueden hacer ya algunas estimaciones cualitativas:

1- Del total de los 20 puntos percutidos solo dos (10%) han manifestado la existencia de adherencia (oo), 11 más (55%) han manifestado la existencia de semiadherencia-semidesprendimiento (o/o) y los 7 restantes (35%) han manifestado la existencia de desprendimiento (o//o).

2- Por puntos de percusión en cada placa, las posiciones centrales y inferiores presentan zonas desprendidas más frecuentes que las superiores.

3- Por placas, las del borde que dan a poniente (W) manifiestan zonas desprendidas más frecuentes que las de levante (E).

3 APLICABILIDAD (2)

Uno de los 4 grupos, el **aplacado de mármol de Sant Vicenç** ha sido examinado en 20 puntos i:

- un 10% han manifestado la existencia de adherencia, lo que permite estimar que 1/10 del total de las placas están plenamente adheridas.
- Un 55% han manifestado la existencia de semiadherencia-semidesprendimiento, lo que permite estimar que 1/2 del total de las placas está parcialmente adherido.
- Un 35% han manifestado la experiencia de desprendimiento, lo que permite estimar que 1/3 del total de la placas presenta el riesgo de caer en cualquier momento.

Se concluye por tanto que, en el aplacado de mármol de Sant Vicenç, el desperfecto que se manifestó con el desprendimiento al vacío de una placa, no es un desperfecto puntual.

Actualmente el grado de extensión aproximado de la afectación plena es del 35% de la superficie aplacada.

Solo un 10% de la superficie presenta una adherencia plena.

3 APLICABILIDAD (3)

La zonas donde hasta ahora se han producido ya desprendimientos (zonas A, C, D), presentan porcentajes superficiales de no adherencia de las placas del 35%, 33% y 47 %, en correspondencia con porcentajes de adherencia del 10%, 0%, y 13 %.

La única zona inspeccionada donde todavía no se han producido desprendimientos (zona B) presenta un porcentaje de no adherencia de las placas del 20% en correspondencia con un porcentaje de adherencia del 66%.

A la vista de las placas de aplacado desprendidas y de los resultados de la campaña de reconocimiento se puede afirmar que los desprendimientos de aplacado en esta fachada:

- **No son una anomalía puntual**
- **En términos cuantitativos hay dos grupos bien diferenciados: Zona A, C y D donde actualmente la superficie NO adherida TRIPLICA la superficie plenamente adherida y la zona B donde la superficie no adherida es UN TERCIO de la superficie plenamente adherida.**
- **Se formula el criterio que, para evitar desprendimientos en esta fachada, no es bueno superar porcentajes de no adherencia del 30%. De ello se deduciría el diagnóstico que el riesgo de desprendimiento inmediato afecta potencialmente toda la superficie aplacada que corresponde a las muestras A, C, y D, pero no afecta la superficie aplacada que corresponde a la muestra B.**

CONCLUSIONES

Este tipo de técnicas no destructivas presentan un gran potencial de aplicación tanto en entornos preventivos (inspecciones periódicas con el fin de detectar anticipadamente una pieza ya desprendida antes que se precipite al vacío) como en entornos post desprendimiento, cuando se plantea la decisión de qué piezas retirar y qué piezas mantener en el momento de proceder a la reparación.

La técnica empleada para esta exploración ha demostrado en este caso ser simple y operativa para el reconocimiento de una gran parte de las placas, situadas en diferentes posiciones del edificio y según diversas tipologías de piedra, lo que lo hace que potencialmente muy apta como sistema de inspección estadística en los casos en que se desconoce la extensión y intensidad de un desperfecto que, como éste, permanece oculto hasta el momento del desastre.

Se ha demostrado ser útil también para discriminar intensidades zonales del desperfecto ya que ha permitido detectar zonas con diferencias de adherencia bastante marcadas, como es el caso de los aplacados horizontales de granito negro o cierta predominancia zonal como es la centralidad o la extremidad.

Palabras clave:

Construcción, fachadas, revestimientos, piedra natural, adherencia, mantenimiento.



Muchas gracias



**Departament
de Construccions Arquitectòniques I
Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del
Vallès (ETSAV)
Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)**



**C/ Pere Serra, 1-15
08173 St. Cugat del Vallès
tel. (00 34) 93 401 78 89 (Sra. Marta)
fax. (00 34) 93 401 79 01**

**e.mail joan.lluis.zamora@upc.edu
mobil (00 34) 680 632 387**