

LA ARENA COMO CAPA INTERMEDIA ESPECIALIZADA PARA LA MEJORA DEL AISLAMIENTO ACÚSTICO ENTRE RECINTOS SUPERPUESTOS.

Alexander Díaz-Chyla, David Caballol, César Díaz; M A Navacerrada

Grupo de Investigación de Acústica Arquitectónica, Universidad Politécnica de Madrid
diazchyla@hotmail.com, cesar.diaz.sanchidrian@upm.es

Resumen

El elemento de separación horizontal entre recintos suele ser un sistema que consta de tres partes diferenciadas: el forjado o soporte base, varias capas intermedias con diferentes funciones, colocadas sobre el forjado y finalmente el solado.

En este trabajo se exponen y se analizan los resultados experimentales in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos de elementos de separación horizontales, habituales hace años, en los que sobre el forjado se coloca una capa uniforme de arena que sirve de asiento al suelo cerámico. Los resultados de las mediciones acústicas muestran que, cuando en el elemento de separación horizontal entre los recintos hay una capa intermedia de arena, el aislamiento acústico es mejor que el que se obtendría con otros sistemas constructivos de igual masa por unidad de superficie, con el suelo unido rígidamente al forjado.

El efecto de la capa de arena colocada entre el forjado y el solado, en el aislamiento acústico entre los recintos, es el de una capa amortiguadora, que hace que este tipo de suelo pueda considerarse como un suelo flotante.

Palabras clave: Forjados, aislamiento a ruido aéreo, aislamiento a ruido de impactos, suelos flotantes, capa de arena seca, construcción tradicional.

Abstract

This work presents and analyses the experimental field results of the sound insulation from airborne and impact noise of the horizontal separating elements commonly used in the past, in which a uniform layer of sand was placed on top of the floor construction to serve as a base for the ceramic tiling. The results of the acoustic measurements show that when there is an intermediate layer of sand in the horizontal separating element between rooms, the sound insulation is greater than would be obtained with other construction systems with equal mass per unit area, where the floor is joined rigidly to the floor construction.

The effect on the sound insulation between the rooms produced by this layer of sand placed between the floor construction and the tiling is that of a cushioning layer, and demonstrates that this type of structure acts as a floating floor.

Keywords: Floor constructions, airborne sound insulation between rooms, impact sound insulation of floors, floating floor, dry sand layer, traditional construction.

PACS: 43.55.Rg

1. Introducción

El elemento de separación horizontal entre recintos suele ser un sistema multicapas que consta de tres partes diferenciadas: el forjado o soporte base, varias capas intermedias con diferentes funciones colocadas sobre el forjado y finalmente el recubrimiento. Las mayores exigencias de eficiencia energética y de confort térmico y acústico han obligado a desarrollar sistemas de recubrimientos más complejos, [1]. En los últimos años, en particular, se han desarrollado multitud de capas elásticas basadas en espumas poliméricas.

En la edificación, hasta no hace muchos años, ha sido habitual en la construcción del elemento de separación horizontal entre dos recintos, el colocar sobre el forjado y solidarias a él, una capa de compresión o de reparto de cargas y otra de nivelación, encima una capa uniforme de arena de miga que sirve de asiento de la capa de agarre y el solado cerámico. La arena de miga es un material de granulometría mayoritariamente arenosa, con un contenido de finos que no supera el 25%, está compuesta de feldespatos, micas, esmécticas, cuarzo y caolinita; su densidad seca media es de aproximadamente 1900 kg/m^3 [2]. La capa de arena llega hasta las paredes del recinto, y no está adherida a ellas y al forjado. De esta forma, el solado tradicional ha sido un suelo flotante, válido para situaciones con unas exigencias normales de resistencia mecánica.

Es conocido [3] que en el caso de forjados de vigas de madera se consigue una mejora importante del aislamiento a ruido aéreo colocando una capa de arena debajo de un pavimento flotante. La arena seca se caracteriza por tener un factor de pérdidas internas elevado, $0,12 \leq \eta_{\text{int}} \leq 0,6$ [4,5] y un coeficiente de rigidez dinámica vertical de aproximadamente $s' = 0,4 \text{ MN/m}^3$ [6]. Que el factor de pérdidas de un sistema constructivo sea elevado aumenta el valor de su índice de reducción acústica. El valor tan pequeño del coeficiente de rigidez dinámica de la arena hace que sea muy eficaz como capa intermedia elástica al realizar un suelo flotante. En este caso, la frecuencia de resonancia del suelo flotante es inferior al de las frecuencias de interés en la acústica de la edificación, cuyo rango está en las comprendidas en las bandas de tercio de octava de frecuencia central entre 100 Hz y 5 kHz. Valores bajos de la frecuencia de resonancia del suelo flotante producen un aumento del aislamiento acústico a ruido aéreo y una reducción del nivel de presión acústica de impactos del sistema [7,8].

En este trabajo se exponen y se analizan los resultados experimentales in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo y a ruido de impactos de elementos de separación horizontales que constan de forjados unidireccionales de semiviguetas pretensadas y bovedillas cerámicas con capa de compresión, o de forjado reticular recuperable. Sobre ellos está colocada una capa de arena y sobre esta una capa de agarre y el solado de terrazo. Los recintos objeto de este trabajo tiene una dimensiones superiores a las habituales en los edificios de uso residencial, al ser aulas o laboratorios en edificios de enseñanza universitaria.

El objetivo principal de este trabajo es probar experimentalmente in situ, el efecto que la capa de arena colocada entre el forjado y el solado tiene sobre el aislamiento acústico entre los recintos (ruido aéreo y ruido de impactos). Posteriormente, se comparan estos resultados con los obtenidos en otros sistemas constructivos con forjados semejantes pero sin capa de arena intermedia.

Las mediciones acústicas se han realizado en varios recintos superpuestos mediante aplicación de las normas EN ISO 140 – Partes 4, 7; [9,10] y su valoración global según la norma EN ISO 717- Partes 1 y 2; [11,12].

Como magnitudes relevantes para expresar el aislamiento a ruido aéreo entre recintos se ha utilizado el índice de reducción acústica aparente R' , calculado de las mediciones acústicas de acuerdo con la fórmula:

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A} \text{ dB} \quad (1)$$

Donde L_1 y L_2 son los niveles de presión sonora promedios medidos en los recintos emisor y receptor respectivamente, en dB. S es el área del elemento separador entre recintos, en m^2 y A es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, en m^2 .

En la evaluación del nivel de ruido de impactos entre los recintos se ha utilizado el nivel de presión sonora de impactos normalizado, obtenido de la expresión

$$L'_n = L_i + 10 \log \frac{A}{10 \text{ m}^2} \text{ dB} \quad (2)$$

Donde L_i es el nivel de presión sonora de impactos en bandas de frecuencia, medido en el recinto receptor, en dB, cuando el suelo objeto de estudio está excitado por una máquina de impactos normalizada. A es el área de absorción acústica equivalente en el recinto receptor, en m^2 .

2. Los recintos objeto del estudio

Los recintos objeto del estudio han sido ocho aulas situadas diferentes Escuelas o Facultades en la Ciudad Universitaria de Madrid. En las tablas 1 y 2 se indican las dimensiones geométricas de los recintos estudiados, tipos de forjados, acabados y masa por unidad de superficie estimada de acuerdo con mediciones in situ de los espesores. El espesor de la capa intermedia de arena entre el forjado y el solado varía entre 3 y 5 cm.

Tabla 1. Características del elemento horizontal de separación entre los recintos.

School/Faculty	Year of construction	Type of floor construction	Mass per unit area of floor construction kg/m^2	Flooring	Total mass kg/m^2
Journalism Faculty	1972	Recoverable reticular	545	terrazzo tile	645
Agricultural School	1988	Beam and pot	421	terrazzo tile	561
Forestry School	1994	Beam and pot	574	terrazzo tile	674
Chemistry Faculty	2003	Beam and pot	469	terrazzo tile	569

3.- Resultados experimentales

Los recintos en los que se han realizado los ensayos acústicos se utilizan como aulas y sus dimensiones geométricas son mayores que las de los recintos habituales en los edificios de uso residencial. Por ello en las mediciones acústicas del aislamiento a ruido aéreo se han realizado más tomas de datos de las habituales. Se han utilizado tres posiciones de fuente sonora, quince posiciones para las medidas de L_1 y L_2 , y 24 posiciones para la medida del tiempo de reverberación en el recinto

receptor T_2 . En la evaluación de los ruidos de impactos, para la máquina de impactos normalizada se han utilizado 8 posiciones. El tiempo de promediado de cada medida ha sido de 30 segundos.

Tabla 2. Datos geométricos de los recintos objeto de estudio acústico.

Test	Premises	Length m	Width m	Height m	Volume m ³	Area of separating floor, m ²
Journalism Faculty, Agricultural School	Classroom 508	15.0	8.8	3.6	606.7	117.8
	Classroom 301	15.5	7.6	5.31	475.2	
Forestry School	Classroom B33	13.53	10.31	2.83	395.1	139.6
	Classroom B24	13.53	10.31	2.83	395.1	
Journalism Faculty, Agricultural School	Classroom 7	10.25	7.05	3.3	234.1	71
	Dasometric lab.	10.06	7.05	3.3	238.5	
Forestry School	Classroom QC22	15.43	10.03	2.9	448.8	156
	Classroom QC11	15.43	10.03	2.9	448.8	

En las figuras 1 y 2 se muestran los resultados experimentales de las mediciones del índice de reducción acústica aparente y del nivel de presión sonora de impactos normalizado, en el rango de frecuencias de un tercio de octava entre 100 Hz y 5000 Hz, así como los valores globales ponderados de dichas magnitudes con sus términos de adaptación de espectros.

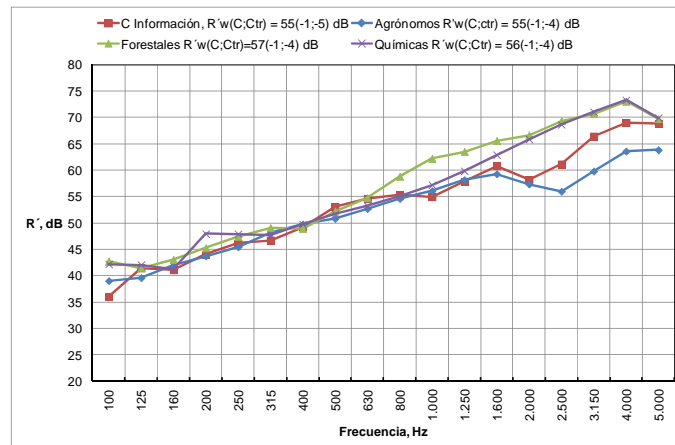


Figura 1. Índice de reducción acústica aparente R' de los forjados analizados

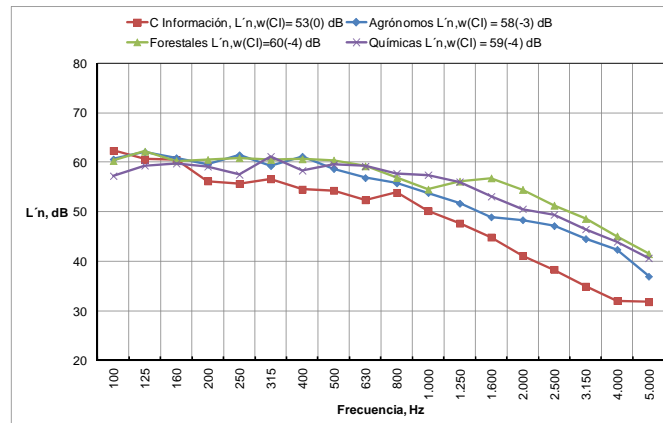


Figura 2. Nivel de presión sonora de impactos normalizado en los recintos objeto de ensayo

4.- Análisis de los resultados obtenidos

4.1 Aislamiento acústico a ruido aéreo.

Las mediciones acústicas del índice de reducción acústica aparente entre los recintos muestra que los valores índice de reducción acústica aparente R' aumentan uniformemente en función de la frecuencia, hasta la banda de frecuencia central de 1600 Hz, a frecuencias superiores los valores tienen una mayor dispersión. Los índices ponderados de reducción acústica aparente R'_w varían entre 55 y 57 dB.

En el caso de recintos superpuestos en edificios de uso residencial, con forjados homogéneos unidireccionales de hormigón armado, con bovedilla cerámica y sin solado amortiguador, los valores del índice ponderado de reducción acústica aparente in situ, para densidades de masa superficial del elemento horizontal de separación, $m' > 300 \text{ kg/m}^2$, se pueden calcular mediante la ecuación siguiente [13]:

$$R'_w = 29 + 8 \log \left(\frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right) \text{ dB} \quad (3)$$

A partir de la ecuación anterior se puede hacer una estimación del índice ponderado de reducción acústica aparente, considerando que la capa de arena y el solado están unidos rígidamente al forjado. Los resultados se muestran en la Tabla 3. La existencia de la capa intermedia de arena produce una mejora del índice ponderado de reducción acústica aparente R'_w que se puede estimar entre 4 y 5 dB, respecto a considerar todo el sistema unido rígidamente.

Tabla 3. Índice de ponderado reducción acústica aparente del elemento horizontal medido y calculado supuesto monolítico.

School/Faculty	Measured in the field with dry sand layer R'_w , dB	Calculated, without dry sand layer R'_w , dB	$\Delta R'_w$, dB
Journalism Faculty	55	51	4
Agricultural School	55	51	4
Forestry School	57	52	5
Chemistry Faculty	56	51	5

Una expresión teórica del índice de reducción acústica aparente R' en función de la masa por unidad de superficie y la frecuencia para este tipo de elementos horizontales de separación entre recintos, con capa de arena intermedia, que ajusta aceptablemente bien con los resultados experimentales obtenidos es la siguiente:

$$R' = 15 \log \left(\frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right) + 20 \log(f / 1 \text{ Hz}) - 44 \text{ dB}; m' > 300 \text{ kg/m}^2 \quad (4)$$

En la figura 3, se muestran los resultados experimentales y los calculados mediante la ecuación anterior para dos de los forjados

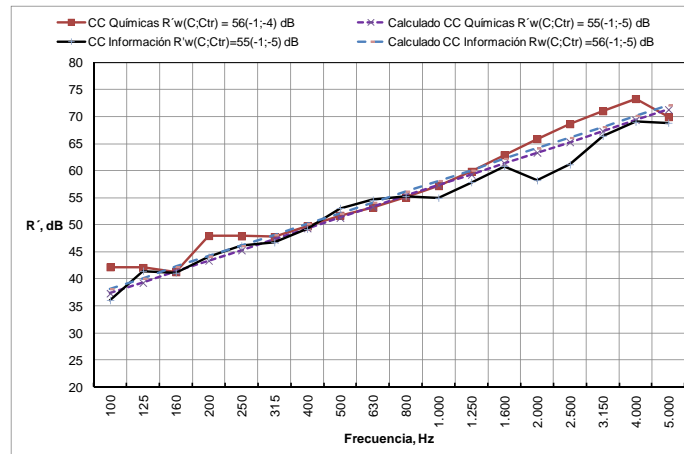


Figura 3. Comparación de los índices de reducción acústica aparentes medidos y calculados.

4.2 Nivel de ruido de impactos

Las mediciones acústicas del nivel de presión sonora de impactos normalizado de cada uno de los ensayos realizados, representados en la figura 2, indican que los forjados de vigueta con bovedilla cerámica tienen unas curvas parecidas en función de la frecuencia. Cuando el forjado es reticular, (CC de la Información), el nivel de presión sonora de impactos normalizado es inferior a los anteriores, en particular a altas frecuencias.

Según la referencia [13], para forjados unidireccionales de hormigón armado y con bovedilla cerámica sin solado amortiguador, el nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado in situ, para $m' > 300 \text{ kg/m}^2$, se puede calcular a partir de la ecuación siguiente:

$$L'_{n,w} = 115 - 15 \log \left(\frac{m'}{1 \text{ kg/m}^2} \right) \text{ dB} \quad (5)$$

A partir de la ecuación anterior se puede hacer una estimación del nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $L'_{n,w}$, considerando que la capa de arena y el solado están unidos rígidamente al forjado. Los resultados se muestran en la Tabla 4. La existencia de la capa intermedia de arena produce una disminución del nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $\Delta L'_{n,w}$, entre 13 y 20 dB supuesto todo el sistema unido rígidamente.

Tabla 4. Nivel de presión acústica ponderado de impactos normalizado $L'_{n,w}$ del elemento horizontal medido y calculado supuesto homogéneo.

School/Faculty	Measured in the field with dry sand layer $L'_{n,w}$, dB	Calculated, without dry sand layer $L'_{n,w}$, dB	Reduction $\Delta L'_{n,w}$ dB
Journalism Faculty	53	73	20
Agricultural School	58	74	16
Forestry School	60	73	13
Chemistry Faculty	59	74	15

4.3 ¿Existe una relación entre el índice de reducción acústica aparente y el nivel de presión sonora de impactos normalizado para este tipo de elementos horizontales de separación?

Para sistemas constructivos homogéneos los aislamientos acústicos a ruido aéreo y a ruido de impactos están relacionados mediante una ley de reciprocidad, de forma que la suma del índice de reducción acústica y el nivel de presión sonora de impacto normalizado depende únicamente de la frecuencia, si las transmisiones forzadas no se tienen en consideración [14,15]. En el caso de suelos flotantes no hay una relación de reciprocidad entre índice de reducción acústica y el nivel de presión sonora de impacto normalizado.

En ensayos realizados in situ en el caso de forjados con vigas de hormigón y bovedillas cerámicas con un acabado de terrazo o parquet [13], existe una relación de reciprocidad experimental cuya ecuación es:

$$R' + L'_n = 66 + 20 \log \left(\frac{f}{1 \text{ Hz}} \right) \text{ dB} \quad (6)$$

Una ecuación muy parecida se obtiene para ensayos in situ, cuando los forjados son de hormigón armado macizo [17].

En la figura 4 se representan las sumas de los índices de reducción acústica aparente y el nivel de presión sonora de impacto normalizado. Se observa que a partir de las frecuencias medias hay una gran dispersión de los datos en los diferentes ensayos. Esto muestra que no se cumple una relación de reciprocidad entre las magnitudes medidas

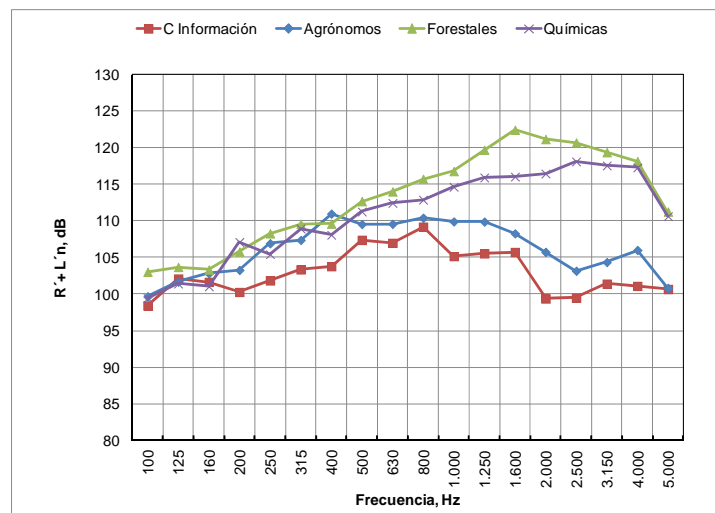


Figura 4. Suma de los valores medidos de $R' + L'_n$ en los recintos objeto de ensayo

5. Conclusiones

Se han realizado mediciones in situ del aislamiento acústico a ruido aéreo y del nivel de ruido de impactos entre recintos superpuestos. El elemento de separación horizontal entre los recintos es un tipo de sistema constructivo habitual hace años. Las baldosas se colocan sobre un lecho de mortero, asentado a su vez sobre una capa de arena distribuida uniformemente sobre el sistema soporte. Las áreas de las superficies de separación entre los recintos estudiados son mayores que las habituales en edificios de uso residencial.

Los resultados experimentales de las mediciones acústicas muestran que, cuando en el elemento de separación horizontal hay una capa intermedia de arena, el aislamiento acústico es mejor que el que se obtendría con otros sistemas constructivos con forjados semejantes, de igual masa por unidad de superficie, pero con todas las capas unidas rígidamente.

El efecto de la capa de arena colocada entre el forjado y el solado, en el aislamiento acústico entre los recintos es el de una capa amortiguadora, que hace que este suelo tradicional pueda considerarse como un suelo flotante.

Desde la perspectiva del aislamiento acústico entre recintos, la existencia de la capa intermedia de arena produce una mejora del índice de reducción acústica aparente R'_w que se puede estimar entre 4 y 5 dB y una disminución del nivel normalizado de presión sonora de impactos normalizado $\Delta L'_{n,w}$ entre 13 y 20 dB.

Se ha obtenido una expresión teórica del índice de reducción acústica aparente R' en función de la masa por unidad de superficie y la frecuencia para este tipo de elementos horizontales de separación entre recintos, con capa de arena intermedia.

No hay una relación experimental de reciprocidad para la suma de los valores del índice de reducción acústica aparente y el nivel de presión sonora de impactos normalizado

El aislamiento acústico medido entre los recintos se puede mejorar, si se reducen las transmisiones indirectas del sonido. Esto se consigue de forma sencilla al desolarizar el perímetro del suelo, de las paredes de los recintos.

6. Referencias

- [1] CEN/TR 13548:2004. Rules for design and installation of ceramic tiling.
- [2] Manzanal D.G.(2008) Modelo constitutivo basado en la teoría de la plasticidad generalizada con la incorporación de parámetros de estado para arenas saturadas y no saturadas. Tesis Doctoral, E.T.S. de I de Caminos, Canales y Puertos UPM.
- [3] Schmitt H., Heene A. Hochbaukonstruktion, (12th edition), Friedr. Vieweg&Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig, (1993).
- [4] Beranek, L. Noise and Vibration Control, McGraw-Hill Inc, (1971).
- [5] Ungar, E.E. Structural Damping. Ver L.I. and Beranek, L., (Eds), Noise and Vibration Control Engineering, Wiley, N York, (2006).
- [6] Barkan, D.D. Dynamics of Bases and Foundations. Ed. McGraw-Hill, (1962).
- [7] EN 12354 – 1: 2000, Building Acoustics, Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 1: Airborne sound insulation between rooms, Brussels.
- [8] EN 12354 – 2: 2000, Building Acoustics, Estimation of acoustic performance of buildings from the performance of elements, Part 2: Impact sound insulation between rooms, Brussels.
- [9] EN ISO 140-4, Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements- Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms (ISO 140-4: 1998).
- [10] EN ISO 140-7, Acoustics- Measurement of sound insulation in buildings and of building elements- Part 7: Field measurements of impact insulation of floors. (ISO 140-7:1998).
- [11] EN ISO 717-1, Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 1: Airborne sound insulation (ISO 717-1:1996). EN ISO 717-1. Amended 1: Rounding rules related to single number ratings and single number quantities. 2006. (ISO 717-1:1996/AM1:2006).

- [12] EN ISO 717-2: 1996, Acoustics - Rating of sound insulation in buildings and of building elements. Part 2: Impact sound insulation (ISO 717-2:1996). EN ISO 717-2: Amended 1:2006 (ISO 717-2:1996/AM 1:2006).
- [13] Díaz, C; Pedrero, A. Field measurements of Airborne and Impact Sound Insulation Between Rooms, One on Top of the Other, with Beam and Pot Floor Structures. *Acta Acustica United with Acustica*, Vol 90 (2004), 982-986.
- [14] Heckl, M., Rathe, E.J. Relationship between the transmission loss and the impact noise insulation of floor structures. *JASA* 1963, 35: 1825-1830.
- [15] Cremer, L., Heckl, M. *Structure Borne Sound*, 2nd edition, Berlin, Springer Verlag, (1988).
- [16] Gerretsen E. Calculation of airborne and sound insulation between dwellings. *Applied Acoustics* .1985, 19: 245-264.
- [17] Díaz C., Caballol D., Díaz, A. La protección frente al ruido de los forjados proyectados por Eduardo Torroja en la E.T.S. de Arquitectura de la Ciudad Universitaria de Madrid. *Informes de la Construcción*, Vol 63(2011), 59-64.