

Escala de gravedad de daños en edificios

# DE LA ASIGNACIÓN DIRECTA A LA CONTRASTACIÓN ESTADÍSTICA

Para llevar a cabo el mantenimiento preventivo de los edificios de una manera eficaz es importante contar con una escala unificada de posibles deficiencias existentes. Esta es la hipótesis que los autores plantean a continuación.

**texto y fotos** Félix Ruiz Gorrindo (Arquitecto Técnico, Doctor Ingeniero Civil, Ingeniero de Obras Públicas), Antonio Aguado de Cea (Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos) y Carles Serrat i Piè (Doctor en Matemáticas)

Lo que no se define no se puede medir. Lo que no se mide, no se puede mejorar. Lo que no se mejora, se degrada siempre". Esta frase del siglo XIX, pronunciada por Sir William Thomson, barón Kelvin (de Largs, en el condado de Ayr) quien, entre otras aportaciones, definió la escala de temperatura Kelvin, está plenamente vigente y sirve para ilustrar la importancia de la necesidad de realizar el mantenimiento preventivo en los edificios, para evitar que se degraden y aparezcan lesiones graves. En el marco del mantenimiento, cabe decir que, para realizar las inspecciones periódicas de los edificios, es de gran utilidad poder cuantificar hasta qué punto las deficiencias existentes son graves o no, con objeto de facilitar la toma de decisiones y priorizar las intervenciones terapéuticas. De hecho, se han utilizado –y utilizan– numerosas escalas diferentes entre sí para valorar el grado de gravedad de los elementos constructivos. Pero no existe consenso común y estas escalas son dispares entre sí según el estudio al que pertenezcan. Por ejemplo, en las distintas normas ITE existentes en España se emplean diferentes escalas y formas de valorar las deficiencias existentes y no hay consenso común en el método de valoración. En cambio, en otros ámbitos de la ciencia sí existen escalas de uso generalizado (escala Boufort, escala Richter, escala Mohs, escala EVA, escala Douglas, etc.).

Todo lo referido muestra la necesidad de proponer y validar una escala que sirva para valorar el grado de gravedad de elementos constructivos en edificios, que sea de uso generalizado, que es el objetivo del presente artículo. El mismo se encuadra en una línea de investigación de la Universitat Politècnica de Catalunya, en la que se ha trabajado intensamente durante seis años (de 2009 a 2014). El resultado principal, hasta la fecha, es la tesis doctoral titulada *Escala de gravedad de daños en edificios. De la asignación directa a la contrastación estadística*, realizada por el doctor Félix Ruiz Gorrindo y dirigida por el doctor Antonio Aguado de Cea y el doctor Carles Serrat i Piè, en

la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (ETSICCP) de Barcelona (Departamento de Ingeniería de la Construcción), en colaboración con la Escuela Politécnica Superior de Edificación de Barcelona (Ingeniería de Edificación-Institut d'Estadística i Matemàtica Aplicada a l'Edificació (IEMA)).

**De la observación al rigor matemático.** En el trabajo expuesto se ha alcanzado dicho objetivo, habiéndose propuesto, inicialmente, una escala de gravedad de daños en edificios, de 11 grados de gravedad (de 0 a 10), de aplicación mediante el método de asignación directa (observación). Las definiciones de cada grado son forzosamente genéricas, ya que la escala es de aplicación a cualquier tipo de elemento constructivo, ya sea fachada, viga de madera, pilar de hormigón armado, perfil metálico, pared de carga, etc.

Sobre esta escala, con posterioridad, se introduce un método de cálculo de distribución, mediante la fórmula de cuantiles estadísticos, que permite visualizar de forma inmediata cuál es la gravedad mínima y máxima de cada sistema (entendiendo por sistemas las fachadas, estructura horizontal, estructura vertical, etc.); y también, muy importante, poder visualizar la distribución de gravedades de cada sistema. En las siguientes expresiones se muestran la gravedad de distribución para el sistema S ( $G_d^{(s)}$ ) y la gravedad de distribución para el conjunto del edificio ( $G_d^*$ ), considerando S sistemas.

$$G_d^{(s)} = (q_0^{(s)}, q_{0.25}^{(s)}, q_{0.50}^{(s)}, q_{0.75}^{(s)}, q_{1.00}^{(s)})$$

$$G_d^* = \begin{pmatrix} G_d^{(1)} \\ G_d^{(2)} \\ \dots \\ G_d^{(S)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} q_0^{(1)} & q_{0.25}^{(1)} & q_{0.50}^{(1)} & q_{0.75}^{(1)} & q_{1.00}^{(1)} \\ q_0^{(2)} & q_{0.25}^{(2)} & q_{0.50}^{(2)} & q_{0.75}^{(2)} & q_{1.00}^{(2)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_0^{(S)} & q_{0.25}^{(S)} & q_{0.50}^{(S)} & q_{0.75}^{(S)} & q_{1.00}^{(S)} \end{pmatrix}$$

EL ESTUDIO DE LA LITERATURA TÉCNICA SOBRE ESCALAS DE DAÑOS PONE EN EVIDENCIA LA NECESIDAD DE LAS MISMAS Y SU DIVERSIDAD EN DIFERENTES ÁMBITOS TEMÁTICOS

Los resultados numéricos obtenidos a través de los cuantiles estadísticos se pueden reducir, cuando se precise, a escalares, a través de la aplicación de expresiones matemáticas y pesos que se proponen y justifican, y permiten calcular las gravedades de sistemas y del conjunto del edificio. En las siguientes expresiones se muestran la gravedad resultante (en escalar) para el sistema  $S$  ( $G_{rw}^{(s)}$ ) y la gravedad resultante (en escalar) para el conjunto del edificio ( $G_w^*$ ), siendo  $w_i^{(s)}$ ,  $w^{(s)}$ ,  $w_s$  diferentes pesos que se proponen y justifican, y siendo  $m_i^{(s)}$  los puntos medios entre las componentes de  $G_d^{(s)}$

$$G_{rw}^{(s)} = \sum_{i=1}^4 w_i^{(s)} \cdot m_i^{(s)}$$

$$G_w^* = \frac{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot G_{rw}^{(s)} \cdot w_s}{\sum_{s=1}^S w^{(s)} \cdot w_s}$$

Los métodos propuestos son de fácil uso y flexibles. Los resultados obtenidos son coherentes al aplicarlo a casos reales de edificios.

Para la contrastación de la escala y evaluar cómo funciona, se ha realizado un ensayo de campo en el que han participado 374 técnicos, asignando el grado de gravedad -según la escala propuesta de 0 a 10-, a 33 imágenes de elementos constructivos. De los datos recogidos (12.342 valores de G asignados) se realiza un análisis estadístico, donde se examinan y relacionan diversos aspectos y se utilizan variadas técnicas matemáticas, tales como estadística descriptiva (medias aritméticas, desviaciones tipo, densidades, frecuencias, histogramas, etc.), regresión logística binaria y *clustering*, utilizándose, para ello, el programa de análisis estadístico Minitab. El estudio estadístico de los datos obtenidos ha permitido:

- Comprobar la robustez de la escala propuesta.
- Determinar la capacidad discriminante de la misma.
- Proponer una escala reducida de menor variabilidad entre técnicos, de 5 grados de gravedad (de 0 a 4).

En la figura 1 se presenta, a manera de ejemplo, los histogramas de frecuencia para tres fotografías representativas del grado gravedad 7 (GR=7). Asimismo, en la figura 2 se muestra el *boxplot* del estudio estadístico realizado para todas las fotos de los distintos niveles, tras una depuración (poco significativa) de valores anómalos; y en la figura 3 se presenta el histograma de frecuencias de las desviaciones (Dev) para cada uno de los valores de G.

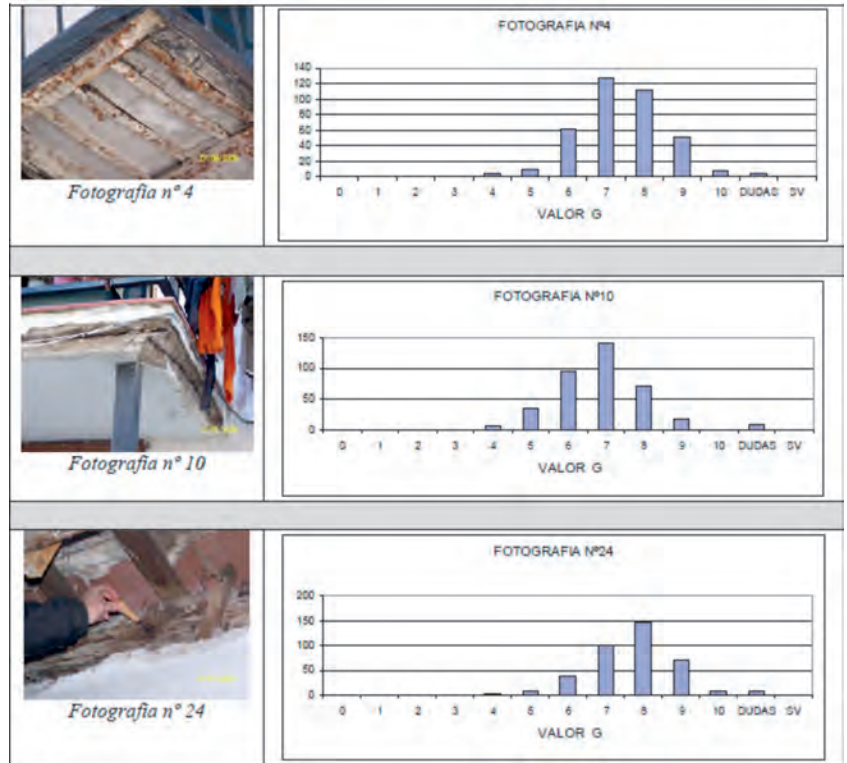


FIGURA 1 Histograma de frecuencias relativas para las respuestas en las fotografías número 4, 10 y 24 (GR=7).

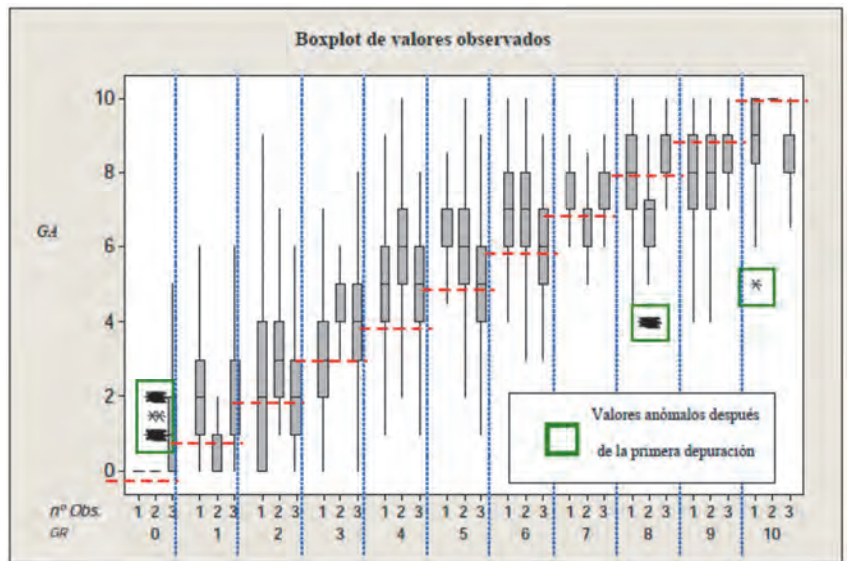
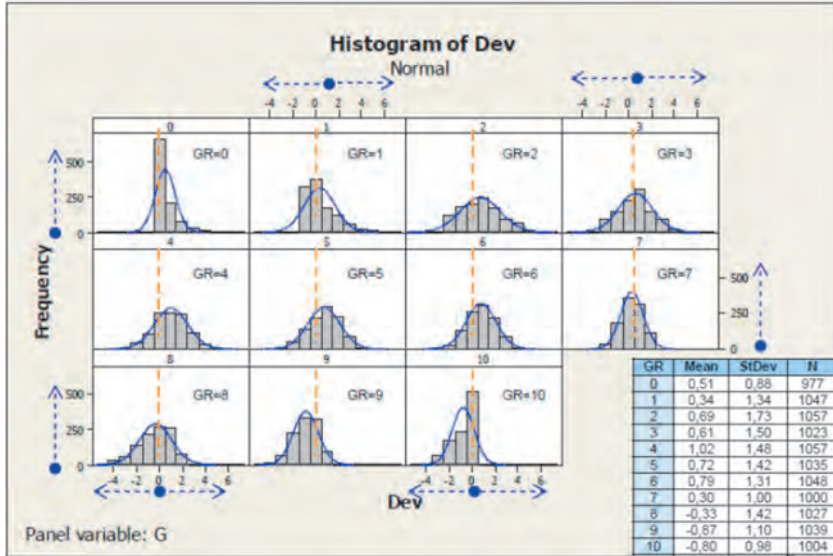


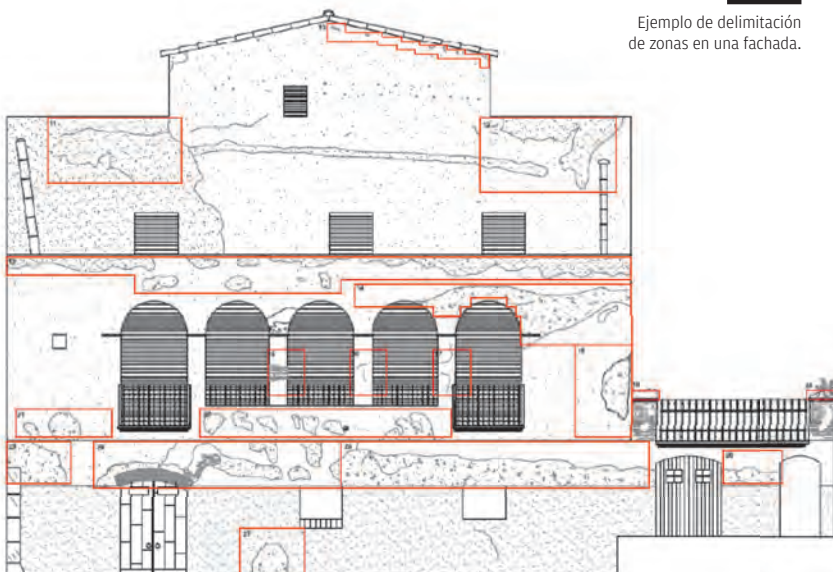
FIGURA 2 Boxplot después de la primera depuración de valores anómalos.



**FIGURA 3**  
Histograma de frecuencias de las desviaciones (Dev) para cada uno de los valores de G.

El planteamiento general realizado permite evaluar cualquier sistema (estructura vertical, estructura horizontal, fachadas, instalaciones, etc.) que integre un edificio y, por agregación, se puede evaluar todo el edificio.

**De lo general a lo particular.** Como alternativa al método de asignación directa, se ha propuesto otro procedimiento basado en indicadores y modelos matemáticos de regresión. El mismo se ha aplicado para el caso de las fachadas y se denomina SEF (Sistema de Evaluación de Fachadas), y se compone de dos partes: gráfica y numérica. En la parte gráfica, se representa la fachada y las zonas que se delimitan de la misma, en base a las disfunciones existentes y a las características de los materiales y de los



**FIGURA 4**  
Ejemplo de delimitación de zonas en una fachada.

elementos constructivos que la constituyen, tal y como se muestra en la figura 4.

En la parte numérica, una vez obtenidos los diferentes datos de la fachada a partir de la parte gráfica, se calculan los indicadores que permiten determinar el grado de gravedad de cada zona j de la fachada -Gj- con el menor grado de variabilidad posible y se proponen los dos indicadores siguientes:

-  $I_j = I(x_j) \in [0,1]$ , como indicador de la medida de energía de impacto de desprendimiento, en función de las características físicas -xj- de la zona j de la fachada.

-  $P_j = P(y_j) \in [0,1]$ , como indicador de la medida de la probabilidad y j de desprendimiento de la zona j de la fachada, en función de los síntomas observados.

La contrastación del método propuesto se ha hecho con diversos casos reales de edificios obteniéndose resultados coherentes, tanto desde el punto de vista técnico como con respecto al método anterior de asignación directa aplicado en fachadas.

Ello permite dos alternativas comprensibles y de fácil uso que, en función de las circunstancias (urgencia, valoraciones, etc.), puedan ser utilizables con éxito para valorar la gravedad de daños en el conjunto del edificio o elementos del mismo, con una baja variabilidad entre técnicos al utilizar la escala.

**Conclusiones.** El estudio de la literatura técnica sobre escalas de daños pone en evidencia la gran necesidad de las mismas y su diversidad en diferentes ámbitos temáticos. Con respecto a la edificación, existen numerosas propuestas sin que su uso sea generalizado, con escalas de valores muy amplias. Por ello, se constata la necesidad de disponer de una escala de gravedad de daños en edificios, de uso generalizado.

Con el fin de contribuir en esta dirección, en primer lugar se ha propuesto la denominada Escala General con 11 grados (de G = 0 a G = 10) en base a una asignación directa de puntuación. Con los resultados, el método de cálculo propuesto, en distribución y en escalar, permite calcular las gravedades de sistemas y del conjunto del edificio, de forma fácil y flexible. Los resultados obtenidos son coherentes al aplicarlo a casos reales de edificios

Esta escala general, si bien es sencilla, tal como han manifestado los 374 técnicos participantes en la experiencia de campo, no resulta del todo satisfactoria tras el análisis estadístico de los datos recogidos, ya que existe una probabilidad de clasificación correcta de los técnicos respecto al valor GR objetivo del 32,07%, lo que representa un valor bajo.

Tras este resultado, se ha propuesto la denominada Escala Simplificada (GS) con 5 grados (de GS = 0 a GS = 4) que mejora la probabilidad de clasificación correcta de los técnicos respecto al valor GS objetivo del 62,88%. Por este

# tripomant®

## Aislamiento Térmico Reflectivo Multicapa

SE UTILIZAN ESCALAS DIFERENTES PARA VALORAR EL GRADO DE GRAVEDAD DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y NO HAY CONSENSO COMÚN EN EL MÉTODO DE VALORACIÓN

motivo, se considera adecuado que, en los casos en que el grado de gravedad de elementos constructivos se vaya a valorar en base a asignación directa, se utilice la Escala Simplificada, al haber menor variabilidad entre los técnicos y aceptable probabilidad de clasificación correcta. En cualquier caso, cabe resaltar que valores de gravedad (G), según la Escala General de 11 grados, se pueden traducir automáticamente a valores de la Escala Simplificada (GS) de 5 grados.

De cara a la implementación práctica y generalizada de las escalas propuestas, convendría que los técnicos, aparte de las definiciones genéricas de la escala, dispusieran además de un catálogo de imágenes de elementos constructivos con sus valores de G de referencia que les sirviera de orientación e información adicional, que contribuiría a aumentar la probabilidad de acierto para asignar valores de G.

Por último, hay que resaltar que las escalas propuestas tienen un amplio alcance (cualquier tipo de edificio o cualquier localización geográfica). Aparte de ser fácilmente desglosable para sistemas del edificio y no solo para el conjunto.

Para el caso específico de fachadas, se ha propuesto un método alternativo para determinar valores de G, Sistema de Evaluación de Fachadas (SEF), basado en indicadores y modelos de regresión. Con él, se consigue una reducción de la variabilidad entre técnicos, obteniéndose resultados muy coherentes en su contrastación con casos reales.

Actualmente, se está en fase de difusión de este trabajo de investigación y de la propuesta de escala de gravedad (a través de la publicación de artículos, impartición de conferencias, etc.), con objeto de tratar de implementar esta escala y que se use, de forma generalizada, en el campo de la diagnosis de patología en edificios de forma análoga a como pasa en otros muchos ámbitos de la ciencia o de la vida (por ejemplo, en el ámbito de la evaluación de la eficiencia energética de edificios), donde se usan escalas de forma generalizada. ■

Más información en:

<http://hdl.handle.net/10803/285004>



**Tripomant recibe un nuevo certificado en reconocimiento a su calidad**



# tripomant®



Padreiro, S.L. Amieirolongo, 154.36415 Mos - Pontevedra.  
T. 986 348 985 - F. 986 348 986. [www.tripomant.com](http://www.tripomant.com). [info@tripomant.com](mailto:info@tripomant.com)

Síguenos en