

Ponencia

Área Temática: Ambito B, Area 4

Título: *Aproximación metodológica al diagnóstico del estado de aptitud de un edificio. Aplicaciones para el análisis de riesgo, vulnerabilidad y durabilidad en la Archidiócesis de Sevilla*

Autor: Juan Manuel Macías Bernal, Eva Barrena Algara

Institución: Universidad de Sevilla, Departamentos de Construcciones Arquitectónicas II y Matemática aplicada I

País: España

Casilla electrónica del autor para contacto: jmmacias@us.es , ebarrena@us.es

RESUMEN

Es sabido que, la durabilidad en el tiempo de un edificio viene dada por su vulnerabilidad y por cualquier tipo de riesgo al que se encuentra sometido. En el presente trabajo, se expone un procedimiento que nos permite medir los posibles factores dominantes que inciden sobre la vulnerabilidad y el riesgo. De este modo, se puede determinar de forma comparada con otros inmuebles la durabilidad siempre incierta del edificio.

Para tratar sistemática y racionalmente la aptitud de un edificio consideramos oportuno determinar y agrupar los factores que de una u otra forma van a influir en la determinación de la vulnerabilidad y el riesgo, y por tanto en la necesidad o no de actuación en la mejora de la conservación del inmueble.

Se presenta una primera aproximación metodológica al tratamiento de los datos de dichos factores. Se propone una fórmula matemática que mide el grado conservación del inmueble en el momento de su análisis.

Palabras clave:

Calidad, conservación, durabilidad, mantenimiento, vulnerabilidad, lógica difusa

El trabajo que aquí se presenta sobre diagnóstico del estado de aptitud de un edificio es parte de un proyecto más amplio cuyos objetivos son:

1º Determinar y demostrar cuales son los factores tanto de vulnerabilidad como de riesgo, que de forma sustancial intervienen en el deterioro del bien patrimonial construido, organizándolos en función de su origen en exógenos y endógenos. Dentro de los exógenos estarían los factores de origen medio ambiental, y los de origen antrópico. En los endógenos estarían los factores determinantes de la vulnerabilidad del edificio y los factores de riesgo estático estructural.

2º Establecer entre ellos coeficientes de ponderación o minoración en función de su grado de influencia en el deterioro global del edificio.

3º Establecer criterios de relación, mediante la aplicación de métodos tipo ACP (Análisis de componentes principales), o de Lógica difusa, entre la vulnerabilidad y el riesgo que permita plantear una fórmula matemática que responda con el mayor grado de fiabilidad posible a la realidad del estado de conservación del inmueble en el momento de su análisis.

4º Analizar un conjunto amplio de inmuebles de la archidiócesis de Sevilla, para establecer niveles de urgencia en las intervenciones necesarios como consecuencia de los puntos anteriores.

Para medir el estado de aptitud de un grupo de edificios, hemos establecido una serie de factores basándonos en nuestra propia experiencia y en la bibliografía consultada.

El origen de los datos de estos grupos de factores nos aportará información de cuatro categorías;

Factores de vulnerabilidad (Materialidad del edificio) Endógenos

Situación geológica, Diseño, Condiciones entorno, Sistema constructivo, Estado conservación y adecuación al uso (Mantenimiento)

Factores de peligrosidad estático-estructurales (situación cambiante Interior del edificio) Exógeno

Modificación estado de cargas, Sobre carga de uso, Ventilación, Instalaciones, Fuego, Medio ambiente interior

Factores de peligrosidad ambiente atmosférico (ambiente Exterior del edificio) Exógeno

Intensidad Publio métrica, Variaciones de temperatura

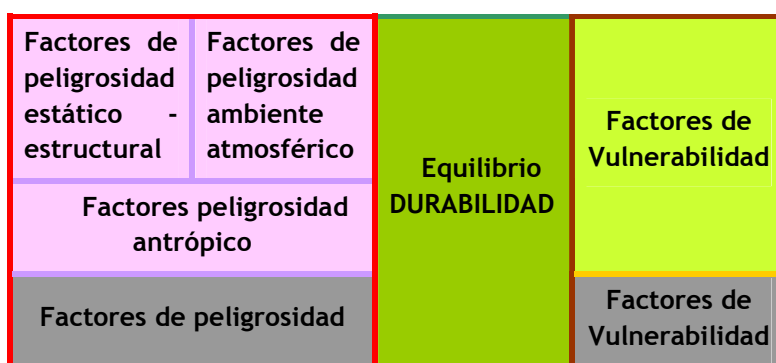
Factores de peligrosidad antrópico (Generados por la actividad humana) Exógeno

Valor incremento población, Valor histórico artístico, Valor mueble, Nivel ocupación

Estos factores se valoran para cada bien en una escala del uno al cuatro, uno lo mejor y cuatro lo peor.

El bien patrimonial a conservar y su durabilidad lo define, en un instante concreto, su vulnerabilidad. El mantenimiento de esa durabilidad en el tiempo está en función del riesgo al que está sometida esa definición o valor de vulnerabilidad. Es el riesgo que va actuar a partir de ese instante como factor degradante de ese estado o momento en el que definimos la vulnerabilidad del edificio. Por tanto vincularemos el factor tiempo a la situación de riesgo, a mas riesgo menos tiempo, pero dependiendo también de la vulnerabilidad. El riesgo se convierte así en un coeficiente reductor de la vulnerabilidad.

El siguiente esquema nos resume lo expuesto hasta el momento.



Esquema de relaciones conceptuales Riesgo/Peligro/Durabilidad/Vulnerabilidad

Realizamos por tanto una nueva propuesta:

Para el mantenimiento del equilibrio del edificio y determinar la durabilidad del mismo, esta es inversamente proporcional a la vulnerabilidad disminuida por la acción de los riesgos futuros.

Por tanto podemos concluir lo siguiente, para establecer nuestra hipótesis de trabajo:

$$| 1/(\text{Vulnerabilidad} - \text{Vulnerabilidad} \times \text{Riesgo}) | = \text{Durabilidad}$$

Nuestra propuesta plantea una primera aproximación a la determinación de la durabilidad, basándose en factores determinantes de la vulnerabilidad y de riesgo, con una metodología sencilla y sistemática, aplicada a un patrimonio inmueble en un espacio geográfico concreto.

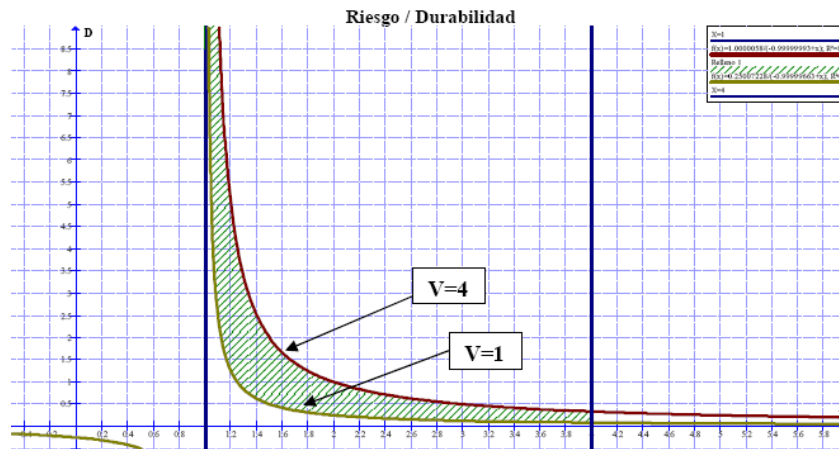


Fig. 1 Graficas de vulnerabilidad máxima y mínima.

En la figura uno, observamos aplicando la formula en valor absoluto, las gráficas que definen el entorno de valores vulnerabilidad en función del riesgo y la durabilidad. Y constatamos lo siguiente:

1º Cuando el riesgo disminuye la durabilidad tiende a infinito, parece lógico ya que el bien patrimonial si no estuviera sometido a ningún riesgo su durabilidad aumenta, es lo que pretenden los museos conservando las obras de arte. Así mismo cuando el riesgo aumenta la durabilidad disminuye

2º Para situaciones de riesgo entre 1 y 1,7 es donde las variaciones con respecto a la durabilidad son mayores, también parece lógico este resultado si las situaciones de riesgo son bajas, la durabilidad es alta.

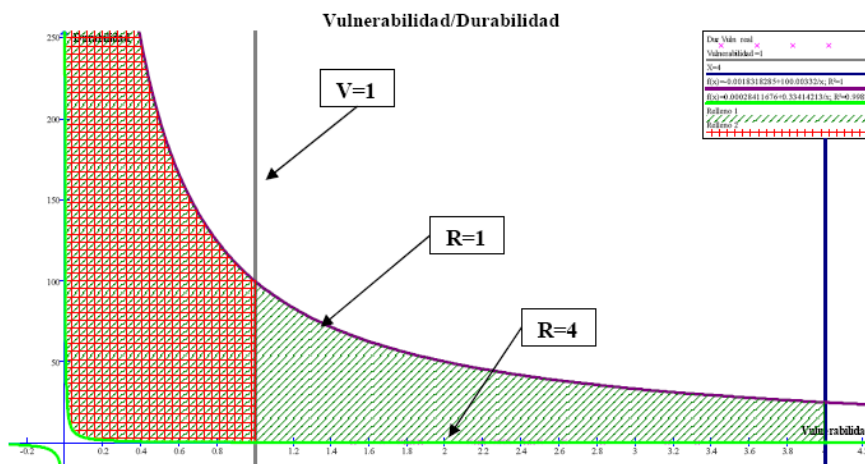


Fig. 2 Graficas de riesgos máximos y mínimos

En la figura dos, se define el entorno de valores de riesgos en función la vulnerabilidad y la durabilidad. Y constatamos lo siguiente:

1º La gráfica nos indica que cuando la vulnerabilidad disminuye la durabilidad aumenta, no hasta el infinito como ocurría antes, sino hasta un valor concreto donde la gráfica intercede

con el valor 1 de mejor vulnerabilidad posible. Parece lógico ya que valores de vulnerabilidad por debajo de uno corresponderían a edificios perfectos, y esto no se da nunca en arquitectura.

2º Para vulnerabilidad alta la durabilidad no decrece bruscamente, también parece lógico ya que los edificios se realizan con estándares constructivos similares y porque el mantenimiento es el que garantiza ese nivel óptimo o no de vulnerabilidad.

Hemos procedido a realizar una simulación de la metodología expuesta utilizando para ello una hoja de cálculo del tipo Excel, introduciendo los datos reales de veintidós inmuebles, distribuidos geográficamente por la diócesis. Se realizan los cálculos del coeficiente de correlación de Pearson, para poder establecer relaciones lineales o no, entre las variables planteadas y los resultados obtenidos tanto de nuestro método de estudio y fórmula de operación, como aplicando las fórmulas planteadas por otras instituciones a nuestro propio método.

Como primer resultado se obtiene una clasificación ordenada de la necesidad de intervención sobre el bien aplicando el criterio que elijamos de clasificación (Por situaciones de riesgo, vulnerabilidad, peligro, situación geográfica, etc....)

Este trabajo se aplica tomando como base un patrimonio arquitectónico heterogéneo y complejo como es el de la Archidiócesis de Sevilla, entendemos que el modelo se puede aplicar sobre cualquier otro conjunto patrimonial, lo que abre posibilidades de aplicación en otros ámbitos.

También con la utilización de datos operativos como superficies y ratios económicos se puede obtener una primera aproximación económica sobre la intervención que el bien necesite.

Realizada esta primera aproximación metodológica, estamos trabajando en el desarrollo y aplicación en este modelo de herramientas como: La Teoría general de sistemas, las técnicas ACP de análisis de componentes principales, o de la Teoría de la lógica difusa, con objeto de afinar los resultados conforme a los factores definidos inicialmente.

La teoría general de sistemas TGS trata de ir desengranando los factores que intervienen en el resultado final, a cada factor le otorga un valor conceptual que fundamenta la coherencia de lo observado, enumera todos los valores y trata de analizar todos por separado y, en el proceso de la elaboración de un postulado, trata de ver cuantos conceptos son comunes y no comunes con un mayor índice de repetición, así como los que son comunes con un menor índice de repetición. Con los resultados en mano y un gran esfuerzo de abstracción, se les asignan a conjuntos (teoría de conjuntos), formando objetos. Con la lista de objetos completa y las propiedades de dichos objetos declaradas, se conjeturan las interacciones que existen entre ellos, mediante la generación de un modelo informático que pone a prueba si dichos objetos, virtualizados, muestran un resultado con unos márgenes de error aceptables. En un último paso, se realizan las pruebas de laboratorio casos reales. Es entonces cuando las conjeturas, postulados, especulaciones, intuiciones y demás sospechas, se ponen a prueba y nace la teoría.

El análisis de componentes principales ACP lo utilizamos cuando se recoge la información de una muestra de datos, y lo más frecuente es tomar el mayor número posible de factores. Sin embargo, si tomamos demasiados factores sobre un conjunto de objetos, por ejemplo 20 factores, tendremos que considerar 180 posibles coeficientes de correlación; si son 40 factores dicho número aumenta hasta 780. Evidentemente, en este caso es difícil visualizar relaciones entre los factores.

Otro problema que se presenta es la fuerte correlación que muchas veces se presenta entre los factores: si tomamos demasiados factores, lo normal es que estén relacionadas o que midan lo mismo bajo distintos puntos de vista. Se hace necesario, pues, reducir el número de factores. Es importante resaltar el hecho de que el concepto de mayor información se relaciona con el de mayor variabilidad o varianza. Cuanto mayor sea la variabilidad de los datos (varianza) se considera que existe mayor información, lo cual está relacionado con el concepto de entropía.

A la hora de evaluar la durabilidad de un edificio es necesario introducir la valoración de expertos, a menudo basada en conceptos imprecisos obtenidos a través de su experiencia. Un entorno difuso ofrece una forma eficaz y sencilla de introducir esta experiencia de forma que los conocimientos se reproduzcan de forma automática.

El concepto de conjunto difuso lo introduce Zadeh , como un intento de vencer la severidad de la teoría clásica de conjuntos y poder reunir proposiciones que, por la naturaleza de lo que representaban, contienen incertidumbre, imprecisión, ambigüedad, generalidad, errores, aproximaciones, borrosidad.¹

La lógica difusa reproduce, de forma automática, el modo de toma de decisiones de una persona. Para ello se basa en el lenguaje natural, asumiendo que los elementos que constituyen el pensamiento humano no son de carácter numérico sino lingüístico y sustituyendo así variables cuantitativas por variables cualitativas.

Partiendo de la base de que la durabilidad en el tiempo de un edificio viene dada por su vulnerabilidad y por el riesgo de cualquier tipo al que se encuentra sometido, encontrando un procedimiento que nos permita medir su vulnerabilidad y riesgo, podremos determinar de forma comparada con otros inmuebles la durabilidad, siempre incierta, del edificio. Como se ha comentado anteriormente, son varios los factores que influyen en el riesgo y la vulnerabilidad de un edificio. El modelado de estos factores en forma de conjuntos difusos y su combinación a través de reglas difusas son el objetivo de esta parte de nuestro trabajo.

Los seres humanos tomamos decisiones basadas en reglas, a menudo las decisiones que tomamos se basan en estamentos de la forma SI-ENTONCES. Así por ejemplo, a la hora de evaluar el riesgo de ambiente atmosférico, las reglas que combinan los factores influyentes provienen de una encuesta a expertos y son de la forma:

Si la intensidad Publio métrica es *regular* y la variación de temperatura es *baja*, ENTONCES el riesgo ambiente atmosférico es *medio*.

La incertidumbre asociada a conceptos lingüísticos como “*regular*”, “*baja*” y “*medio*” la modelamos en forma de conjuntos difusos. Contrario a un conjunto clásico, un conjunto difuso es un modelo de una colección de objetos de forma que un objeto no necesariamente pertenece o no pertenece a esa colección. Esto significa que la transición desde “pertenece a un conjunto” ($x \in A$) a “no pertenece a un conjunto” ($x \notin A$) es gradual en vez de nítida. Los conjuntos difusos propuestos por Zadeh (1965) se describen unívocamente por sus funciones de pertenencia, que toman valores en el intervalo $[0, 1]$.

Tomando como ejemplo las variaciones de temperatura y eligiendo funciones de pertenencia de forma trapezoidal para su modelado (véase figura3), se llega a que una variación de temperatura de 35° pertenecerá a conjunto “*media*” con un grado de pertenencia de 0.5 y al conjunto “*alta*” con un grado de pertenencia de 0.5, por ejemplo. De la misma forma cada uno de los valores del espacio de medida pertenecerá a los distintos conjuntos difusos en que se divida dicho espacio con grados de pertenencia que van de 0 a 1.

¹ Aplicación de los conjuntos difusos en la evaluación de los parámetros de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería
Esperanza Maldonado Rondón*, Iván Gómez Araújo**, Gustavo Chio Cho***

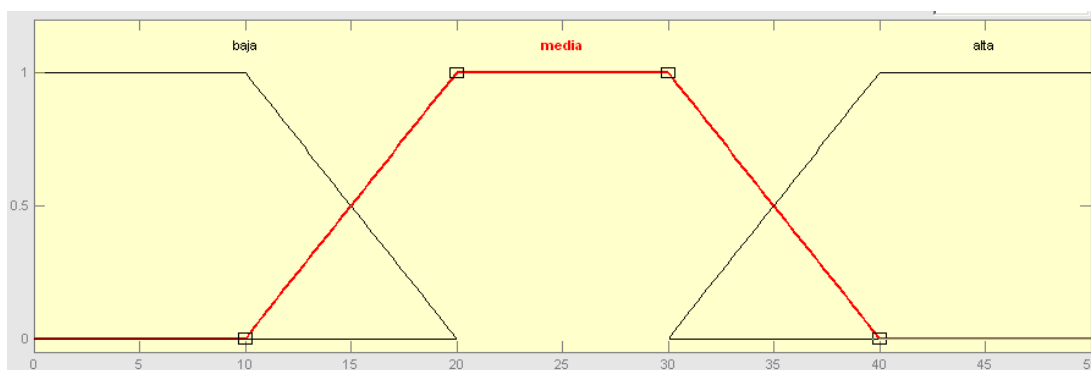


Figura3 Funciones de pertenencia asociadas al factor “variación de temperatura”

Conclusión:

La determinación de la medición objetiva de la durabilidad en el tiempo de un edificio, está aún lejos de poderse concretar. Sin embargo, estamos más cerca de conseguir el poder ordenar un grupo de edificios con mejores expectativas de durabilidad en el tiempo, frente a otros. Con las metodologías expuestas, se está trabajando en esta línea, tomando como muestra para su aplicación cincuenta edificios repartidos por la archidiócesis de Sevilla (España). Los resultados que se han obtenido con la aplicación de la fórmula planteada, tienen coherencia y ratifican que la línea emprendida es idónea. La naturaleza y características de los factores condicionantes de la durabilidad o estado de aptitud de los edificios nos sugieren la aplicación de la lógica difusa como nuevo método matemático a aplicar.

Bibliografía.

1. Andalucía. Consejería de Cultura y Medio Ambiente & Italia. Ministerio per i Beni Culturali e Ambientali. in La carta de riesgo : una experiencia italiana para la valoración global de los factores de degradación del Patrimonio Monumental : contenido del Curso Internacional realizado en Granada, diciembre, 1991 58 (Consejería de Cultura y Medio Ambiente, Sevilla, 1992).
2. Arango González, J. R. in *Introducción al estudio de la vulnerabilidad sísmica de los edificios históricos de Granada* 155 (Universidad de Granada, Granada, 2003).
3. Barbat, A. H. in *El riesgo sísmico en el diseño de edificios* 248 (Calidad Siderúrgica, Madrid, 2001).
4. Blachère, G. & Bassegoda Musté, B. in *Saber construir : habitabilidad, durabilidad, economía de los edificios* 307 (Editores Técnicos Asociados, Barcelona, 1978).
5. Bonsón Díaz, T. in *Diseño e implementación de sistemas inteligentes y su aplicación a la estimación de riesgos de vulnerabilidad de suelos* 137 (S.N., 1998).
6. Cardona, O. D. in *Vulnerabilidad sísmica de hospitales : fundamentos para ingenieros y arquitectos* 165 (Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, Barcelona, 1999).
7. Carreño, M. L., Cardona, O. D., Barbat, A. H. & Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería. in *Sistema de indicadores para la evaluación de riesgos* 156 (Cimne, Barcelona, 2005).
8. Centro Nacional Prevención Daños y Pérdidas. *Evaluación del riesgo de incendios. Método cálculo* 57 (Cepreven, Madrid, 1988).
9. Instituto de Estadística de Andalucía. in *Estadística y medio ambiente* (Instituto de Estadística de Andalucía, Sevilla, 2000).
10. Mani, M. Hybrid turbulence models for unsteady flow simulation. (2004).
11. Monjo Carrió, J. in *Durabilidad vs vulnerabilidad* [43]-58 (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid, 2008).
12. Pérez de Agreda, E. A. in *Riesgos naturales en ingeniería civil* 284 (Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, 1986).
13. Rostam, S. & Calavera Ruiz, J. in *Tecnología moderna de durabilidad = Modern durability technology : dedicado al profesor José Calavera Ruiz ...* 54 (Intemac, Madrid, 1992).
16. Lotfi A. Zadeh: Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3) (1965), 338-353.