

Durabilidad vs Vulnerabilidad

Durability vs Vulnerability

J. Monjo Carrió*

RESUMEN

Se propone la definición de durabilidad de un elemento constructivo a partir de su vulnerabilidad. Para ello, se analizan estos dos conceptos básicos junto con los de *función constructiva*, *acciones externas* y *calidad*. Se parte de unas fórmulas matemáticas empíricas para definir la durabilidad a partir de la vulnerabilidad, se describe con precisión la vulnerabilidad en construcción y sus variantes a partir de los posibles procesos patológicos y sus consiguientes lesiones, susceptibles de afectar a los materiales y elementos de un edificio, y se describen dichas lesiones, agrupadas por familias. Finalmente, se desarrolla un ejemplo de definición de durabilidad a partir de la vulnerabilidad en chapados de piedra.

689-18

Palabras clave: durabilidad, vulnerabilidad, calidad, función constructiva, patología constructiva, lesiones constructivas.

SUMMARY

A definition of the durability of a constructive element from its vulnerability is being proposed. In order to do so, these two basic concepts are analyzed, together with constructive function, external actions and quality. Some empiric mathematical formula are established to define durability from vulnerability, and vulnerability ad its variations are precisely described from the pathological processes and the derived constructive failures that can affect to construction materials and building elements, while these failures are described grouped in different families. Finally a case study of durability from vulnerability is developed referring to stone cladding elements.

Keywords: durability, vulnerability, quality, constructive function, construction pathology, construction pathology.

*Dr. Arquitecto

Persona de contacto/*Corresponding author:* director.ietcc@.csic.es (Juan Monjo Carrió)

1. ANTECEDENTES

En el mes de octubre de 2005 se organizó en el IETcc un seminario sobre *durabilidad de productos de construcción*, como una actividad dentro del marco de la UEAtc, a la que pertenece el Instituto. En dicho seminario tuve la oportunidad de dictar una charla sobre el tema que nos ocupa que, convenientemente corregida y ampliada presento ahora en este artículo.

2. PROPUESTA

La DURABILIDAD de un producto de construcción como su capacidad para mantener su funcionalidad constructiva sin alteración durante su vida útil, debe establecerse en función del análisis de su VULNERABILIDAD. Para ello, en este trabajo analizo los conceptos básicos de durabilidad y vulnerabilidad, así como todos los que pueden considerarse relacionados con ellas en el proceso constructivo.

Por otra parte, la VULNERABILIDAD depende de una serie de condiciones objetivas que afectan al elemento constructivo, a saber:

- La *función constructiva* del elemento en el edificio
- Las *acciones externas* que actúan sobre el elemento constructivo
- La *calidad* del producto

En efecto, la *función constructiva* que se le encarga al elemento o unidad constructiva en cuestión, condiciona, tanto las exigencias de comportamiento, como los riesgos de sufrir procesos patológicos.

Asimismo, las *acciones* que sufre dicho elemento son las que pueden provocar el inicio de los procesos patológicos y, por tanto, la manifestación de su vulnerabilidad.

Por último, la *calidad* del producto y de los elementos constructivos, son condiciones básicas para conocer su comportamiento ante las acciones que deben sufrir y, por tanto, para el riesgo de que se vean afectados por esos procesos patológicos.

Dicha CALIDAD la podemos definir en función de dos tipos de características:

- Características *físicoquímicas*, que condicionan su comportamiento ante las acciones externas, tanto físicas y mecánicas, como químicas, y su definición dependerá de la función constructiva que se le encomienda al elemento en cuestión
- Características *geométricas* (diseño geométrico y encuentros con otros elementos -de-

talles constructivos-) que condicionan también el comportamiento de la unidad constructiva, sobre todo ante las acciones mecánicas (cargas y sobrecargas) y las físicas (lluvia, condensación, ensuciamiento, organismos, etc.)

En definitiva, pretendo establecer que la **durabilidad** de un elemento constructivo es función de su **vulnerabilidad** que, a su vez, lo es de la *función constructiva* del elemento, de las *acciones exteriores* que actúan sobre él y de su *calidad*. Por ello, para definir dicha **durabilidad** será imprescindible el análisis de su **vulnerabilidad**.

3. CONCEPTOS BÁSICOS

Para seguir adelante en esa propuesta, considero útil un breve análisis de los términos y conceptos utilizados, y sus definiciones.

FUNCIÓN CONSTRUCTIVA (FC) como conjunto de exigencias funcionales y constructivas de un elemento o unidad a lo largo de la vida útil del edificio en el que está colocado. Existe un amplio abanico de funciones que podemos agrupar en:

- **Estructurales** (*contención* del terreno, *cimentación*, estructura *vertical*, estructura *horizontal*, estructura *auxiliar* de otros elementos constructivos, estructura *provisional* durante el proceso constructivo, etc.)
- **Cerramiento de fachadas** (paño ciego, acabado exterior, aislamiento, carpintería de ventanas, acristalamiento, protección solar o de vistas, protección de seguridad, petos y barandillas, etc.)
- **Cubiertas** (faldón, impermeabilización, cobertura, drenaje, aislamiento, etc.)
- **Distribución interior** (tabiques, puertas, aislamiento, etc.)
- **Acabados interiores** (pavimentos, paredes, techos, etc.)

ACCIONES EXTERNAS (AE) como conjunto de acciones previsibles sobre un edificio y sus componentes a lo largo de su vida útil, incluidas las derivadas de su uso. Dependen de la función, de la localización y del ambiente. Son numerosas y se pueden agrupar en:

- **Físicas** (lluvia, temperatura y sus cambios, suciedad ambiental, etc.)
- **Mecánicas** (cargas propias, sobrecargas de uso, presión y succión de viento, golpes, impactos, rozamiento, cuelgue de elementos, etc.)
- **Químicas** (presencia y ataque de animales y plantas, contaminación ambiental, fuego, ácidos y grasas, etc.)

CALIDAD (C) como conjunto de características fisicoquímicas y geométricas de un elemento que fijan sus cualidades constructivas; como consecuencia, condicionan su comportamiento ante las acciones externas, y de ellas depende el correcto cumplimiento de su funcionalidad constructiva (FC) y, por tanto, su durabilidad (D) durante la vida útil del edificio. Se deben tener en cuenta dos tipos de características:

- **Fisicoquímicas** (FQ) (resistencias mecánicas, resbaladicidad, coeficientes de absorción y succión, permisividad al paso de vapor de agua, capacidad de aislamiento térmico y acústico, resistencia al fuego, combustibilidad, resistencia a ácidos y grasas, etc.)
- **Geométricas** (G) en función del diseño y detalles constructivos (inercia de secciones estructurales, unión y enlace con otros elementos -empotramiento, articulación, deslizamiento-, pendiente, solapes, gote-rones, etc.)

VULNERABILIDAD (V) como conjunto de debilidades (procesos patológicos posibles) que presenta un elemento constructivo al quedar expuesto a las acciones exteriores previsibles durante su vida útil. Depende de su calidad (sus características fisicoquímicas, así como su solución constructiva). Puede considerarse la inversa de la *durabilidad*. Es consecuencia de FC y de AE. Los procesos patológicos que expresan la vulnerabilidad pueden agruparse en:

- **Físicos** (humedades, ensuciamiento, erosión atmosférica, etc.)
- **Mecánicos** (deformaciones, roturas, desprendimientos, desgaste, etc.)
- **Químicos** (eflorescencias, presencia y ataque de organismos, oxidación y corrosión, alteración superficial, etc.)

DURABILIDAD (D) como capacidad de un elemento constructivo de mantener sus características fisicoquímicas sin alterar durante su vida útil, mientras está expuesto a las acciones externas previsibles, al menos para asegurar su correcta funcionalidad constructiva (FC). Depende de su vulnerabilidad (V) de la calidad del elemento y de su mantenimiento, incluidas las tolerancias admisibles de las exigencias funcionales. Es consecuencia de FC y de AE.

4. OBJETIVOS

A la vista de lo anterior, podemos establecer que el estudio de la durabilidad de los productos de construcción, teniendo en cuenta su relación de dependencia con la vulnerabilidad, puede tener dos objetivos básicos y, además, complementarios:

a. Definir la calidad (C) de un elemento que va a ser utilizado en un edificio para *asegurar una determinada durabilidad* (D) basada en su funcionalidad constructiva (FC) y en las acciones externas (AE) a las que va a ser sometido, lo que podríamos expresar de la siguiente manera

$$C = FQ+G = f(FC + AE)$$

b. Conocer la durabilidad (D) de un elemento en una determinada situación constructiva (FC+AE) en función de su *calidad* (C) y como inversa de su *vulnerabilidad* (V) para esa situación

$$D = f(C) = f(FQ+G) = f(f(FC+AE)) = 1/V$$

5. FACTORES CONDICIONANTES

Estos dos tipos de objetivos sólo se pueden alcanzar si se conocen bien y se tienen en cuenta todos los factores condicionantes. Veamos esos factores y lo que significan para la calidad de la edificación.

5.1. Funcionalidad constructiva (FC)³

Conjunto de "misiones" constructivas que se le encargan al elemento o producto. La podemos definir a través de la conocida "*Triada Vitrubiana*":

a. Firmitas (estabilidad estructural)

Que se refiere a todos los aspectos resistentes y necesarios para la estabilidad del edificio en su conjunto y de cada una de sus unidades y elementos en particular, a saber:

- Transmisión de todas las cargas que se generan en el edificio hasta el terreno, así como su contención (*Cimentaciones*)
- Soporte de cargas y sobrecargas con un nivel de seguridad adecuado, incluso con limitación de las deformaciones elásticas (*Estructura portante*)
- Estabilidad y seguridad de cerramientos y acabados, evitando posibles deformaciones o desprendimientos (*Estructuras auxiliares*)

b. Utilitas (habitabilidad)

Que engloba todos los aspectos relacionados con la función de la arquitectura como cobijo de actividades y personas, es decir:

- Definición y protección de espacios habitables, tanto desde el punto de vista físico, protegiendo de las inclemencias meteorológicas, de los intrusos, del fuego, etc., como desde el aislamiento térmico y acústico, manteniendo, sin embargo, las posibilidades de comunicación con el exterior por medio de la visión a través, posibilidades de acceso y salida, etc.

(Cerramientos de cubiertas, de fachada y de tabiquería para distribución interior)

- Definición de las características de los materiales para el acabado interior de los espacios habitables, tanto para su correcto uso, como para un adecuado confort lumínico y acústico (*Acabados interiores*)
- Confort de los espacios habitables mediante el uso complementario de sistemas electromecánicos para asegurar temperatura, humedad y ventilación adecuadas, así como todo tipo de servicios para la adecuada habitabilidad del edificio (*Sistemas de acondicionamiento y servicios*)

c. Venustas (estética)

Que recoge todos aquellos aspectos relacionados con la estética del edificio y cada una de sus unidades y elementos, es decir:

- Formas, composición, siluetas, texturas y colores en exteriores (*Cubiertas, fachadas y acabados exteriores*)
- Espacios, formas, composición, texturas y colores en interiores (*Acabados interiores de suelos, paredes y techos*)

5.2. Acciones externas (AE)³

Todas aquellas que se puedan suponer actuando sobre el edificio y sus elementos a lo largo de su vida útil. Son básicas para entender y definir la funcionalidad constructiva de las unidades y elementos, así como su durabilidad. Las podemos agrupar en tres conjuntos:

a. Acciones mecánicas

Las que supongan la aparición de una fuerza en un momento determinado:

- **Estructurales** (cargas y sobrecargas); entre ellas podemos incluir:
 - *Peso propio* de todos los elementos componentes (con cargas)
 - *Empujes* provocados por el terreno o posibles materiales sueltos
 - *Sobrecargas* de uso debidas a la habitabilidad específica de cada edificio (personas, muebles, almacén, vehículos, agua, nieve, etc.)
 - *Viento* (presión y succión) que afecta tanto a la estructura principal del edificio como a cualquiera de sus elementos de cerramiento y acabados exteriores
 - *Cargas térmica y de humedad* (dilatación, contracción) que afectan asimismo a todos los elementos del edificio, tanto a los estructurales como a los de cerramiento y acabado, con mayor intensidad cuanto más expuestos a los agentes meteorológicos esté el elemento en cuestión
 - *Cargas reológicas* (retracción, histéresis, fatiga) que también afectan a todos los elementos

y unidades, aunque de modo especial a los estructurales

- **Constructivas**; Las que son consecuencia de las soluciones constructivas empleadas y la interacción que, por ellas, se genera entre los distintos elementos. Las más destacadas son:

- *Cuelgue*, normalmente de elementos de cerramiento con respecto a la estructura, o de los acabados con respecto a los cerramientos a los que se sujetan, con posible tracción y esfuerzo cortante o rasantes
- *Apoyo*, de unos elementos estructurales sobre otros, o de cerramientos de cubierta sobre elementos estructurales, o de elementos de acabado sobre los de cerramiento, etc., con generación de cargas puntuales, o de pandeos y alabeos o, incluso, de torsiones
- *Empotramientos*, generalmente de elementos estructurales entre sí, con aparición de momentos, que generan esfuerzos de tracción, compresión y cortantes

- **De uso**; Las debidas a la propia habitabilidad del edificio, a partir de las actividades y los usuarios. Las más importantes:

- *Impactos*, debidos sobre todo a actividades industriales, afectando a los elementos de acabado interiores y exteriores, especialmente los pavimentos y las partes bajas de las paredes
- *Rozamiento*, con desgaste general e incisiones, debido a cualquier tipo de actividad, más intensos en edificios de uso público con gran tráfico, y afectando también a pavimentos y zonas bajas de paredes

b. Acciones físicas

Todas aquellas acciones que puedan afectar a los elementos constructivos y a sus características físicas, y para las que el edificio ofrece cobijo, como son:

- **Meteorológicas**, debidas a los agentes atmosféricos:
 - *Lluvia*, que puede provocar fenómenos de capilaridad, filtración y entumecimiento, en general, con posibles pérdidas de características mecánicas y variaciones dimensionales
 - *Temperatura*, tanto los cambios de la misma a lo largo de ciclos anuales o diarios, que provoca variaciones dimensionales, como las extremas, que pueden alterar las características mecánicas de los elementos constructivos, reduciendo su durabilidad
 - *Sol*, que puede provocar calentamientos locales, además de deslumbramientos a los usuarios
 - *Viento*, que se puede aprovechar para la aireación de los locales habitados

- **De uso**, debidas a las actividades humanas en el edificio y el entorno:

- **Ruido**, debido a las distintas actividades interiores y exteriores, que condiciona el aislamiento de los cerramientos, así como la reverberación y la reflexión de los acabados interiores

c. Acciones químicas

Conjunto de acciones que provocan alteraciones químicas en los elementos constructivos, normalmente con degradación de sus características de calidad. Las más importantes son:

- **Organismos**, pertenecientes al entorno en el que se sitúa el edificio, y que pueden afectar a sus elementos y unidades, bien por simple asentamiento en los mismos, o por ataque directo. Por sus acciones, distinguimos entre:

- **Animales**, desde los insectos, especialmente los xilófagos, que atacan a los elementos leñosos, hasta los domésticos y de granja, de mayor porte, que pueden provocar erosión en cerramientos y acabados, pasando por las aves y roedores, que también pueden provocar efectos de erosión, o de ataques químicos debidos a sus excrementos

- **Plantas**, con acciones puntuales de árboles próximos a cerramientos de fachada, que con sus raíces pueden provocar grietas y fisuras en las mismas, o gramíneas y musgos en cerramientos y acabados exteriores, que facilitan la concentración y filtración de humedades en los mismos

- **Hongos**, que en elementos leñosos provocan su pudrición, y sobre cerramientos y acabados exteriores (mohos y líquenes) facilitan concentraciones de humedad y presencia de ácidos que pueden afectar a elementos pétreos

- **Actividades del hombre**, como parte de sus actividades en el edificio o en su entorno, que provocan acciones químicas sobre las unidades y elementos constructivos:

- **Contaminación** del aire y del agua, producida normalmente por coches, calefacciones, fábricas, humo, etc., que puede provocar alteraciones en los materiales, especialmente los pétreos

- **Fuego**, normalmente por accidente o por actividades industriales, que afecta a la integridad de los elementos constructivos, especialmente a su resistencia

- **Gases y ácidos en interiores**, principalmente en actividades industriales, que afectan también a la integridad de los materiales

- **Agentes naturales**, del entorno del edificio, que provocan alteraciones químicas a sus elementos, especialmente:

- **Humedad**, relativa del ambiente o producida por el uso del edificio, que puede provocar la corrosión de los elementos metálicos o eflorescencias en elementos de cerramiento

- **Rayos ultravioletas**, provenientes de la radiación solar, que provocan la rigidización de resinas sintéticas, la alteración de las maderas, etc.

5.3. Calidad (C)

Se puede considerar como el conjunto de las características de un elemento o producto en un momento determinado, por lo que su definición debe alcanzar, por lo menos las siguientes características:

- **Físicas**, incluidas las *mecánicas* (densidad, porosidad, elasticidad, resistencias mecánicas, etc.)

- **Químicas** (constitución molecular, resistencia a ácidos y grasas, oxidación, etc.)

- **Geométricas**, especialmente para los elementos constructivos con una forma específica

Como consecuencia, la definición de la calidad de cada material, elemento o producto constructivo está condicionada por una serie de decisiones en las distintas fases del proceso, a saber:

a. En el proyecto

Lo estará en función de las consideraciones de durabilidad y prevención que se establezcan, según la previsión de uso y de vida útil. Así, se deberá concretar la calidad,

- *Del edificio* como un conjunto, lo que se debe especificar en el diseño constructivo

- De cada uno de los *elementos y unidades*, lo que se desarrolla en los detalles de colocación y encuentro, y en el pliego de condiciones técnicas

b. En la producción del material o elemento

Donde se deberán establecer las características fisicoquímicas para su producción que, a su vez, requerirá un análisis y unas condiciones específicas en cada una de las etapas:

- *En cantera*, cuando se trate de materiales naturales

- *En fábrica*, si hablamos de productos manufacturados

- *En obra*, si tratamos de elementos realizados "in situ"

c. En el montaje en obra

Donde se deberán especificar las condiciones que afectan a la calidad del producto colocado, lo que implica, por lo menos, dos aspectos importantes:

Tabla 1. Factores condicionantes de la vulnerabilidad

Factores	Exigencias	
Funcionalidad Constructiva (FC)	Firmitas (Estabilidad estructural)	
	Utilitas (Habitabilidad)	
	Venustas (Estética)	
Acciones Externas (AE)	Acciones mecánicas	Estructurales
		Constructivas
		De uso
	Acciones físicas	Meteorológicas
		De uso
	Acciones químicas	Organismos
		Actividades del hombre
		Agentes naturales
	Calidad (C)	Características físico-mecánicas
Características químicas		
Características geométricas		

- *Formación de la mano de obra*, para asegurar esa calidad, tanto en labores de producción de elementos prefabricados (en taller o a pie de obra) como de unidades ejecutadas "in situ"
- *Fijación de las tolerancias*, para una colocación precisa, lo que dependerá, a su vez, del tipo de edificación y técnica constructiva, y que también se deberán aplicar, tanto en su producción en fábrica como en su colocación en obra

Todos esos factores quedan resumidos en la Tabla 1.

6. DURABILIDAD Y VULNERABILIDAD

Tal como ha quedado mencionado, entiendo que la durabilidad de un elemento constructivo se puede definir a partir de su vulnerabilidad. En el apartado anterior he analizado los factores de los que depende dicha vulnerabilidad. Veamos ahora los aspectos básicos de la misma, así como de la durabilidad, con objeto de establecer mejor la relación entre ambas.

6.1. Vulnerabilidad (V)

Ha quedado definida como el conjunto de debilidades (procesos patológicos posibles) que presenta un elemento constructivo, con una determinada funcionalidad, al quedar expuesto a las acciones exteriores previsibles durante su vida útil. Los procesos patológicos que expresan la vulnerabilidad, y las lesiones consiguientes, pueden agruparse en: ^{1, 2 y 4}

a. Lesiones físicas

Como aquellas que son consecuencia de un proceso marcado por leyes físicas, que afectan, por tanto, a las características físicas de los elementos y materiales. Las más importantes son:

- **Humedades**, como presencia de agua líquida en algún elemento constructivo donde no estaba prevista, con diferentes tipos según su origen:
 - *De obra*, en materiales porosos que se han colocado en obra aportando agua líquida al proceso (obras húmedas) como hormigón, fábrica de ladrillo, tendido de yeso, enfoscados, etc., y que no han podido alcanzar la humedad de equilibrio antes de aplicarse el acabado superficial (fig. 1)
 - *Capilar*, en arranque de fachadas y tabiques, como consecuencia del ascenso por succión (fenómeno capilar) del agua contenida en el terreno que está en contacto (fig. 2)
 - *De filtración*, como agua de lluvia que entra por distintas vías a través de fachadas y cubiertas, por su propia estructura porosa, por juntas constructivas entre distintos elementos, por roturas de los cerramientos o de los acabados, etc. (fig. 3)
 - *De condensación*, como consecuencia de alcanzar la temperatura de rocío el vapor de agua que transita a través de fachadas y cubiertas, desplazándose desde los locales donde se produce hacia el exterior, más ventilado (fig. 4)
 - *Accidentales*, por rotura de tuberías incorporadas en cerramientos, que facilitan la salida del agua que contienen, empapando los materiales porosos que encuentran alrededor (fig. 5)
- **Suciedad**, en fachadas urbanas con materiales porosos, que reciben las partículas ensuciantes en suspensión en el aire, como consecuencia de la contaminación ambiental. En función de la forma de llevarse a cabo esa lesión, podemos diferenciar dos tipos de ensuciamiento:
 - *Por depósito*, debido al "depósito" de las partículas ensuciantes en la superficie de las fachadas en zonas poco expuestas, bien por simple gravedad, o por efectos foréticos (fig. 6)



Fig. 1. Humedad de obra en yeso.



Fig. 2. Humedad de capilaridad en muro de fachada.



Fig. 3. Humedad de filtración en fachada con terraza.



Fig. 4. Humedad de condensación por puente térmico.



Fig. 6. Ensuciamiento por depósito.



Fig. 5. Humedad accidental.



Fig. 7. Ensuciamiento lavado diferencial.

- Por lavado diferencial, como consecuencia de procesos espontáneos de lavado (churrones limpios) en zonas previamente sucias, por falta de control de la escorrentía del agua (fig. 7)



Fig. 8. Erosión física por helada.



Fig. 9. Erosión física por helada.

- **Erosión** (erosión meteorológica) como consecuencia de la acción de los *agentes atmosféricos* en fachadas y cubiertas, especialmente en las partes más expuestas de las mismas (cornisas, esquinas, molduras, balcones, etc.) (figs. 8 y 9)

b. Lesiones mecánicas

Como consecuencia de procesos mecánicos, a partir de fuerzas externas o internas. Afectan a las características mecánicas de los elementos constructivos y pueden considerarse las siguientes:

- **Deformaciones**, como primera reacción del elemento a una fuerza externa, al tratar de adaptarse a la misma; dentro de ellas distinguimos:

- **Desplomes**, de muros, pilares, fachadas, y cualquier elemento vertical que se vea



Fig. 10. Pandeo y desplome de muro de carga.

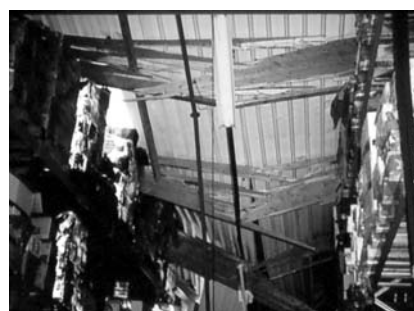


Fig. 11. Flecha hasta rotura de vigas de madera laminada.

afectado por fuerzas horizontales en la parte superior (fig. 10)

- **Flechas**, de vigas, forjados, cubiertas, y cualquier elemento horizontal que se vea afectado por una fuerza vertical en algún punto interior de los mismos (fig. 11)

- **Pandeos**, de elementos verticales (pilares, muros, tabiques, acabados) excesivamente esbeltos para las cargas verticales a los que se ven sometidos (fig. 10)

- **Alabeos**, de elementos verticales superficiales (muros, tabiques, acabados) que sufren una combinación de fuerzas perpendiculares y paralelas a los mismos, que provocan su deformación aleatoria (figs.12, 13 y 14)

- **Roturas**, como consecuencia inmediata del agotamiento de la capacidad de deformación del elemento constructivo, cuando sigue sometido a fuerzas externas (más fácil, cuanto más rígido es el material). Por el proceso patológico y su alcance, debemos distinguir entre grietas y fisuras:



Fig. 12. Alabeo de muro de adobes.



Fig. 13. Alabeo de perfiles metálicos.



Fig. 14. Deformación de bajante metálica.



Fig. 15. Grietas por "desgarro" de muro de fábrica.



Fig. 16. Grietas en muro por asiento.



Fig. 17. Grietas por movimiento de dintel.

- *Grieta*, cuando la rotura alcanza a todo el espesor del elemento constructivo, dejándolo inútil para su posible función estructural y debilitado para la de envoltura, resultando partido en dos. Puede aparecer en cualquier elemento estructural o de cerramiento (pilares, vigas, muros, forjados, tabiques) (figs. 15, 16, 17 y 18)

- *Fisura*, cuando la rotura afecta exclusivamente al acabado superficial del elemento, suponiendo que exista tal acabado superpuesto. Suele deberse a variaciones dimensionales por cambios higrotérmicos y afecta, sobre todo, a acabados exteriores



Fig. 18. Grieta por dilatación de estructura horizontal.



Fig. 19. Fisura de chapado por dilatación.



Fig. 20. Fisuras en mosaico por retracción higrotérmica.



Fig. 21. Desprendimiento de alicatado "a hueso".



Fig. 22. Desprendimiento de vierteaguas por falta de solape.

de fachadas, e interiores de paredes, suelos y techos. En el caso de elementos de hormigón armado, puede afectar a la capa de recubrimiento, siendo sus posibles causas, además de las variaciones higrotérmicas mencionadas, estados tensionales de tracción, o la hidroxidación de las armaduras (figs. 19 y 20)

- **Desprendimientos**, como consecuencia de la separación de los acabados con respecto a los elementos soportes a los que están unidos. Según el tipo de acabado desprendido, podemos diferenciar entre:

- *Acabados continuos*, enfoscados, revocos, guarnecidos, enlucidos, estucos, pinturas, etc., por fallo de la unión continua entre el soporte y el mortero, o entre una capa de mortero y la siguiente; suele fallar por la aparición de esfuerzos rasantes (por dilataciones y contracciones higrotérmicas) o por la presencia de humedad o sales cristalizadas

- *Acabados por elementos*, que, a su vez, pueden estar sujetos por dos tipos de sistemas de adherencia:

- *Con morteros continuos*, como los alicatados, que suelen fallar por los mismos motivos del punto anterior, empeorados por el hecho de recibir las plaquetas con "torta de mortero" en el trasdós y "junta a hueso", lo que reduce sus posibilidades efectivas de adherencia y les confiere una gran vulnerabilidad (figs. 21, 22 y 23)

- *Con anclajes metálicos puntuales*, como los chapados de piedra o los empanelados de todo tipo, cuya vulnerabilidad depende del sistema de anclaje donde confluyen todos los esfuerzos, tanto rasantes, por variaciones dimensionales de los paneles como consecuencia de los cambios de humedad y temperatura, como de arrancamiento, generalmente debidos a los esfuerzos de succión del viento en zonas más expuestas; el riesgo más importante es el de la corrosión de los anclajes (fig. 24)

- *Elementos sueltos* y decorativos, de gran variedad de forma y dimensiones, desde farolas y carteles, hasta molduras verticales y horizontales, pasando por marquesinas y cornisas. Sus sistemas de adherencia también son múltiples, dominando los anclajes metálicos con el consiguiente riesgo de corrosión

- **Erosión**, como pérdida de material superficial provocada por acciones mecánicas; distinguimos, pues, dos grupos de causas:

- *Impactos y rozamientos*, debidos al uso habitual, que provoca desconchones puntuales y desgastes en las partes bajas accesibles, siendo más vulnerables las esquinas por su mayor nivel de exposición, lo que exige soluciones más fuertes en ellas (fig. 25)

- *Eólica*, en puntos altos y más expuestos de las fachadas (coronaciones y esquinas)



Fig. 23. Desprendimiento de chapado de piedra por falta de anclajes.



Fig. 25. Erosión de pavimento de piedra por desgaste mecánico.



Fig. 24. Desprendimiento de chapado por debilidad solución en inglete.

provocada por la acción del viento en zonas descampadas y próximas a áreas arenosas (fig. 26)

c. Lesiones químicas

Como consecuencia de reacciones químicas entre los propios materiales de los elementos constructivos (normalmente materiales pétreos en fachadas) y los elementos atmosféricos (agua, aire) o los productos contaminantes contenidos en el ambiente circundante (lluvia, aguas freáticas o de saneamiento, etc.) o debido a la presencia y el posible ataque de organismos vivos. Podemos considerar las siguientes:

- **Eflorescencias**, como consecuencia de la cristalización de sales solubles contenidas en alguno de los elementos constructivos por donde puede pasar el agua que las disuelve y las arrastra hacia el exterior; necesitan de esas sales solubles y de una lesión simultánea de humedad. Si la sal no llega al exterior y cristaliza en alguna cavidad previa a la superficie, se produce una "criptoflorescencia" que provoca un efecto erosivo complementario. Según el proceso químico podemos distinguir dos variantes:

- **Directas**, como consecuencia de la cristalización de sales solubles contenidas en los materiales; suelen ser sales alcalinas (fig. 27)

- **Indirectas**, al formarse las sales por reacción de componentes propios con agentes



Fig. 26. Erosión general.



Fig. 27. Eflorescencias y criptoflorescencias en ladrillo.



Fig. 28. Pseudoflorescencias de carbonato cálcico.

atmosféricos, como es el caso de la formación de carbonato cálcico a partir de óxido cálcico de las pastas cementosas (fig. 28)



Fig. 29. Corrosión de armaduras próximas a superficie.



Fig. 30. Churretón de óxido por falta de imprimación de patilla.



Fig. 31. Corrosión de perfil tubular horizontal en barandilla.



Fig. 32. Corrosión de bajante de hierro.

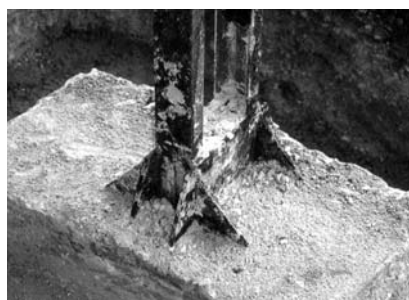


Fig. 33. Corrosión de arranque de pilar por aireación diferencial.

todos los metales, especialmente al acero, por su contenido en hierro. Aparecen diversas variantes según el proceso:

- *Oxidación previa*, debido al hierro que contiene, que sufre fácilmente la oxidación en contacto con el aire o el agua y que, si sigue en contacto con la humedad, se hidroxida. Ocurre, tanto en elementos estructurales, como, sobre todo, en elementos de cerrajería o auxiliares de los cerramientos, sin la protección suficiente e imposibilitados de ventilación y secado (figs. 29, 30, 31 y 32)
- *Aireación diferencial*, al aparecer zonas con humedad continuada, adyacentes a otras más fáciles de secarse; las húmedas se corroen (fig. 33)
- *Inmersión*, con aparición de hidróxido que se disuelve en función del pH del agua, perdiéndose material
- *Par galvánico*, sobre todo elementos de cerrajería y carpintería, cuando están en contacto con otros metales, con corrosión puntual
- **Organismos**, me refiero a su presencia no deseada en algún elemento constructivo, o al ataque de los mismos a los materiales constitutivos. En función del tipo de organismo distinguimos:
 - *Animales*, que pueden dañar al elemento constructivo de diversas formas:
 - *Asentamiento*, como en el caso de las aves, provocando sobrepeso en cubiertas los nidos de las de gran tamaño (cigüeñas) o suciedad las pequeñas (palomas) incluso cierta agresión en materiales pétreos los ácidos de sus excrementos (figs. 34 y 35)
 - *Erosión mecánica*, los animales domésticos, por roces, mordeduras y raspados en puertas y zócalos (fig. 36)
 - *Destrucción*, como en el caso de los insectos xilófagos que anidan y se alimentan de la madera, dejándola sin la integridad suficiente, como las diversas variantes de carcomas y polillas, afectando tanto a elementos estructurales como de carpintería de puertas y ventanas o de acabados interiores (figs. 37 y 38)

- **Corrosión**, que supone una pérdida de material metálico a partir de una pila electroquímica que se forma entre dicho elemento metálico y otro material próximo; suele aparecer como consecuencia de un proceso de oxidación-reducción y afecta a

- *Plantas*, cuyo simple asentamiento en molduras y cornisas o en canalones, ya dificulta la correcta escurrida del agua y su drenaje, facilitando filtraciones, además de deterioro por las raíces que se introducen en grietas y fisuras, agrandándolas (fig. 39)



Fig. 34. Presencia de palomas en resaltes de fachada.



Fig. 35. Acumulación de "palomina".



Fig. 36. Erosión mecánica de animal doméstico en puerta.

- *Hongos*, con dos tipos diferenciados:

- *Colonias en materiales porosos*, en zonas poco asoleadas y ventiladas, tanto en exteriores como en interiores (armarios); colonias que acumulan humedad, producen malos olores y segregan ácidos perjudiciales (fig. 40)

- *Hongos de pudrición*, en elementos de madera, que la acaban destruyendo, tanto estructurales como de acabado y carpintería (fig. 41)



Fig. 37. Perforaciones de carcoma.



Fig. 38. Larva e imago de "Hilotrupes Bajulus".



Fig. 39. Arbusto silvestre en grieta de fachada.



Fig. 41. Formación de hongo de pudrición en madera.



Fig. 42. Pátina de sulfato cálcico sobre fachada de piedra.



Fig. 43. Pátina de sulfato cálcico en interior de bóveda de piedra por filtración.

- **Erosión**, por la acción de la contaminación ambiental (iones sulfuro, ácidos, monóxido y dióxido de carbono, partículas metálicas, etc.) que provocan alteraciones de diverso tipo en algunos componentes mineralógicos de los materiales pétreos, a saber:

- **Pátinas**, en la superficie de los elementos, de consistencia porosa o, incluso, blanda, que facilitan la retención de humedad y el ennegrecimiento (figs. 42 y 43)
- **Costras**, que alteran visiblemente la textura exterior del elemento en cuestión, con cierta fragilidad, y con la posible formación de alvéolos que facilitan la penetración del agua de lluvia (fig. 44)
- **Lixiviación**, de los materiales cementantes en piedras areniscas, que provocan la erosión progresiva del material

Todo este conjunto de lesiones puede resumirse en la Tabla 2, que podríamos llamar de “vulnerabilidad”.

6.2. Durabilidad (D)

La hemos definido como la capacidad de un elemento constructivo de mantener sus características fisicoquímicas sin alterar durante su vida útil, mientras está expuesto a las acciones externas previsibles, al menos para asegurar su correcta funcionalidad constructiva. Sin embargo, resulta difícil de medir de una forma directa, pues no disponemos de parámetros para considerar todas las variables que intervienen, por lo que debemos buscar un modo indirecto de medirla.

Para ello, y tal como ha quedado establecido, podemos recurrir a su vulnerabilidad frente a los agentes exteriores que, a su vez, depende de la calidad del elemento en cuestión, de la calidad del diseño del sistema constructivo, y de su mantenimiento, teniendo en cuenta las tolerancias admisibles de las exigencias funcionales.

Tabla 2. Vulnerabilidad de elementos constructivos

Familia	Lesión	Variantes
FÍSICAS	Humedades	de obra de capilaridad de filtración de condensación accidentales
	Ensuciamiento	por depósito por lavado diferencial
	Erosión	meteorológica
MECÁNICAS	Deformaciones	desplomes flechas pandeos alabeos
	Roturas	grietas fisuras
	Desprendimientos	acabados continuos elementos sueltos
	Erosión	impactos y rozamientos eólica
QUÍMICAS	Eflorescencias	directas indirectas
	Corrosión	por oxidación previa por aireación diferencial por inmersión por par galvánico
	Organismos	animales plantas hongos
	Erosión	pátinas costras lixiviación

Como consecuencia, para analizar la durabilidad de un elemento constructivo, propongo que lo hagamos a través de la vulnerabilidad del mismo frente a las acciones exteriores previsibles, que sí resultan parámetros relativamente fáciles de medir. Ello nos llevará a considerar también los tres tipos de durabilidad consecuentes con las tres familias de lesiones que determinan su vulnerabilidad, a saber:

- **Durabilidad física**, o capacidad de mantener su funcionalidad constructiva frente a acciones físicas,

- *Humedades*, sin sufrirlas, o sin alterar su calidad por la presencia de las mismas
- *Suciedad*, con reducida capacidad de ensuciamiento, o facilidad de "autolimpieza"
- *Erosión*, con alta resistencia a la erosión meteorológica y sin afectarle las heladas

- **Durabilidad mecánica**, que nos indica su resistencia a las acciones de este tipo,

- *A deformaciones*, sin alterar su capacidad mecánica ni llegar a rotura
- *A grietas*, presentando resistencia suficiente a tracción y cortante para no romperse y mantener su integridad
- *A fisuras*, en los casos de acabados superficiales, con reducida variación dimensional gracias a la presencia de juntas de retracción, o con la elasticidad suficiente para absorberlas
- *A desprendimientos*, con la adherencia adecuada al soporte, resistiendo esfuerzos rasantes y de arrancamiento según su situación
- *A la erosión mecánica*, en base a su resistencia suficiente ante golpes y abrasión

- **Durabilidad química**, como las posibilidades de mantener su calidad frente a las agresiones de tipo químico,

- *Eflorescencias*, por inexistencia de sales solubles en los materiales, además de ausencia de procesos patológicos de humedad
- *Corrosión*, en elementos metálicos, bien por su propia resistencia, por su protección o por su disposición constructiva



Fig. 44. Costras y alvéolos.

- *Organismos*, gracias a su disposición constructiva y a su resistencia a los ataques
- *Erosión química*, debido a la ausencia de componentes mineralógicos susceptibles de ser alterados, o a su resistencia a la filtración de agua o a los propios ataques.

7. CONCLUSIONES

En cada uno de los objetivos marcados en el punto 4 (a. *Definir la calidad de un elemento para asegurar una determinada durabilidad*, y b. *Conocer la durabilidad de un elemento en una determinada situación constructiva*) vemos que la *vulnerabilidad*, dependiente de la función constructiva (FC) y de las acciones externas (AE) es un claro condicionante. Por otra parte, en el apartado anterior hemos visto cómo la durabilidad puede medirse a partir también de la vulnerabilidad.

En consecuencia, y como conclusión principal de este discurso, que confirma la propuesta planteada en el punto 2, podemos ver una tabla de **Vulnerabilidad/Durabilidad**, que parte de esos dos factores condicionantes de la vulnerabilidad (FC y AE) y que nos permite analizar la durabilidad del elemento de una forma global (Tabla 3)

Tabla 3. Vulnerabilidad/Durabilidad

ACCIONES EXTERNAS		FUNCIÓN CONSTRUCTIVA		
		Estabilidad	Habitabilidad	Aspecto
Mecánicas	Estructural			
	Constructiva			
	De uso			
Físicas	Meteorológicas			
	De uso			
Químicas	Organismos			
	Actividad del hombre			
	Agentes naturales			

Si en la tabla introducimos los posibles procesos patológicos y lesiones que le pueden afectar al elemento constructivo en estudio, tendremos su vulnerabilidad, y a partir de ella, estableceremos su durabilidad, bien como objetivo a conseguir, cuando el elemento esté en fase de diseño, bien como dato concreto a tener en cuenta, cuando se trate de un elemento ya en uso.

A modo de ejemplo, podemos ver la aplicación de esta tabla a la solución de *chapados de piedra para fachadas* (Tabla 4).

A partir de estos datos de *vulnerabilidad* de chapados de piedra, las condiciones de *durabilidad* de un elemento constructivo para esa función deben definirse en los siguientes términos:

a. La calidad, como conjunto de características físicoquímicas (FQ) y geométricas (G) que deben mantenerse a lo largo de su vida útil

b. Para cumplir adecuadamente con la función constructiva encomendada

c. Y ser capaz de evitar los siguientes procesos patológicos:

- *Desprendimientos*, que afecta principalmente al sistema de anclaje, su resistencia a cortante y arrancamiento, y su dificultad de corrosión
- *Deformaciones y fisuras*, que implica la introducción de juntas de dilatación, además de las características del material
- *Filtración*, asegurando un sistema de estanqueidad adecuado
- *Erosión*, confirmando la resistencia del material a los agentes meteorológicos
- *Ensuciamiento*, con el tratamiento superficial adecuado, además del control de la escorrentía
- *Eflorescencia*, asegurando la ausencia de sales solubles en el material, además de procesos patológicos de humedad.

Tabla 4. Vulnerabilidad/Durabilidad de chapados de fachada

ACCIONES EXTERNAS		FUNCIÓN CONSTRUCTIVA		
		<i>Estabilidad</i>	<i>Habitabilidad</i>	<i>Aspecto</i>
Mecánicas	<i>Estructural</i>	Desprendimiento y fisuras	Filtración y pérdida de aislamiento térmico	Desprendimiento y fisuras
	<i>Constructiva</i>	Desprendimiento y fisuras	Filtración y pérdida de aislamiento térmico	Desprendimiento y fisuras Deformación
	<i>De uso</i>	Desprendimiento y fisuras	Desprendimiento y fisuras	Desprendimiento y fisuras Erosión
Físicas	<i>Meteorológicas</i>	Deformación Desprendimiento y fisuras	Filtración y pérdida de aislamiento térmico	Deformación Desprendimiento y fisuras Animales y plantas Erosión Eflorescencias
	<i>De uso</i>			
Químicas	<i>Organismos</i>	Desprendimiento y fisuras	Filtración y pérdida de aislamiento térmico	Suciedad, animales y plantas Erosión
	<i>Actividad del hombre</i>	Desprendimiento y fisuras Deformación	Filtración y pérdida de aislamiento térmico	Deformación Desprendimiento y fisuras Erosión, suciedad
	<i>Agentes naturales</i>	Corrosión de anclajes		Erosión Eflorescencias

BIBLIOGRAFÍA

(1) Monjo Carrió, J.: "Patología de cerramientos y acabados arquitectónicos". Ed. Munilla Lería, 1994.
 (2) Monjo Carrió, J.; Maldonado Ramos, L.: "Patología y técnicas de intervención en estructuras arquitectónicas". Ed. Munilla Lería, 2001.
 (3) Tratado de construcción. Sistemas. AAVV. Ed. Munilla Lería, 2001.
 (4) Tratado de rehabilitación. Tomo 2. Metodología de la restauración y de la rehabilitación. Sistemas AAVV. Ed. Munilla Lería, 1999.

* * *