



Received: 24-05-2018

Accepted: 28-07-2018

Anales de Edificación

Vol. 4, Nº 2, 9-18 (2018)

ISSN: 2444-1309

Doi: 10.20868/ade.2018.3773

Análisis coste-beneficio de las estructuras inteligentes. Cost-benefit analysis of intelligent structures.

Félix Ruiz Gorrindo, Pau Martí Colom, Ariadna Llorens Garcia

Universitat Politècnica de Catalunya (felixrg@neapolis.cat; pau.marti@upc.edu; ariadna.llorens@upc.edu)

Resumen— Definimos estructura inteligente como aquella estructura dotada de unos sensores (en especial continuos y de fibra óptica), de manera que es capaz de transmitir datos de interés sobre su estado de salud (deformaciones, fisuraciones, oxidaciones, etc.). Esta tecnología puede facilitar el mantenimiento preventivo de los edificios y la gestión de su salud estructural. Por ello, un aspecto de interés necesario a analizar para saber si la tecnología es aplicable o no, es evaluar su rentabilidad. Así, el objeto de este artículo es realizar un análisis coste-beneficio de las estructuras inteligentes, estudiando por un lado cuál es el incremento de coste inicial que supone la implementación de la propuesta, y por otro lado evaluar cuál es el ahorro de dinero a lo largo del tiempo que supone la aplicación de la misma, lo que permite establecer el periodo de retorno de la inversión inicial, y a partir de qué momento se pueden esperar beneficios netos.

Palabras clave— Mantenimiento preventivo; inspecciones periódicas; estructura inteligente; smart city; sensorización; análisis coste-beneficio.

Abstract- Smart structure is defined as that structure equipped with sensors (especially continuous and composed of fiber optic), so that it is capable of transmitting data of interest about its state of health (deformations, cracks, oxidations, etc.). This technology can facilitate the preventive maintenance of buildings and the management of their structural health. Therefore, an aspect of interest necessary to analyze in order to know if the technology is applicable or not, is to evaluate its profitability. Thus, the objective of this article is to perform a cost-benefit analysis of smart structures, studying on the one hand which is the initial cost increase involved in the implementation of the proposal, and on the other hand to evaluate which is the saving of money to over the time that the application of it represents, what allows to establish the payback period of the initial investment, and from which moment you can expect net benefits.

Index Terms— Preventive Maintenance; periodics inspections; intelligent structure; smart city; sensorization; cost-benefit analysis.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se piensa en un elemento constructivo de hormigón armado, normalmente se asocia a un ser inanimado, de la

misma manera que una piedra también se asocia a un ser inanimado. Pero, ¿y si fuera posible dotar a este elemento de hormigón armado, a este ser inanimado, de un sistema nervioso que le permitiera transmitir datos sobre su estado de salud

(fisuraciones, deformaciones, humedades, carbonatación, oxidación, etc.)? ¿Y si esto fuera posible realizarlo con toda la estructura de un edificio?

Claramente lo indicado aportaría importantes beneficios, al facilitar significativamente el mantenimiento de los edificios y el detectar precozmente las patologías existentes. Esto que explicado de esta manera suena en cierto modo a ciencia ficción, no lo es en absoluto.

En el trabajo de Ruiz y Llorens (Ruiz y Llorens, 2012), ya quedó de manifiesto la posibilidad técnica de dotar de un sistema nervioso a las estructuras de los edificios, y lo beneficioso que podía resultar la aplicación de estas tecnologías. El concepto básico explicado es dotar a la estructura de unos sensores (en especial continuos y de fibra óptica), de manera que la estructura quedaba dotada de un “sistema nervioso” y era capaz de transmitir datos de interés sobre su estado de salud (deformaciones, fisuraciones, oxidaciones, etc.). También se explican algunos ejemplos del uso de esta tecnología y de su investigación científica en el Departamento de Ingeniería de la Construcción de la ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona.

Todo lo referido queda claramente enmarcado dentro del concepto global de “Smart city” (ciudad inteligente) y de “Smart materials” (materiales inteligentes). De hecho, este tipo de estructuras referidas se suelen denominar “estructuras inteligentes”.

El segundo paso de la investigación debe pasar por evaluar la viabilidad económica de la propuesta, pues si se diera el caso

que la misma tuviera un coste de implantación en los edificios muy elevado, muy superior a cualquier ahorro posterior que pudiera repercutir, quedaría claro que la propuesta no sería viable aplicarla de forma generalizada en los edificios, sino tan sólo en algún caso puntual para su estudio científico.

Por tanto, el estudio deber ser del tipo de coste-beneficio, tal y como se denomina en el campo de la Economía Aplicada. En este estudio se debe analizar por un lado cuál es el incremento de coste inicial que supone la implementación de la propuesta. Y por otro lado se debe evaluar cuál es el ahorro de dinero a lo largo del tiempo que supone la aplicación de la propuesta, la cual cosa permite establecer el periodo de retorno de la inversión inicial, y a partir de qué momento se pueden esperar beneficios netos.

El objeto del presente artículo es precisamente realizar el análisis coste-beneficio de las estructuras inteligentes, para evaluar si su uso es factible desde un punto de vista económico. Lo que se expone es un resumen de la línea de investigación realizada el año 2015 entre Neàpolis (centro tecnológico que pertenece al ayuntamiento de Vilanova i la Geltrú y que tiene como algunas de sus prioridades la investigación, la innovación tecnológica, la emprendedoría y la colaboración con la universidad), la EPS de Ingeniería de Vilanova i la Geltrú y la ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona (Departamento de Ingeniería de la Construcción). Esta investigación se realizó en el marco de un proyecto EPS (European Project Semester), desarrollado en idioma inglés, en el que participaron 4 estudiantes extranjeros de ingeniería en



Fig. 1. Edificio Neàpolis.



Fig. 2. Iglesia Sant Antoni Abat.

fase de proyecto final de carrera, que eran de los siguientes países: Alemania (2), Francia y Holanda.

En el caso que se demuestre de forma consistente que la propuesta es aplicable técnicamente (la cual cosa como se ha referido ya se ha demostrado en investigaciones realizadas en Cataluña), y que es interesante económicamente, por ser atractivo el periodo de retorno de la inversión inicial y que el volumen de beneficios netos que se pueden obtener sea significativo, implicaría que sería de interés aplicar estas tecnologías al conjunto de los edificios, tanto a los existentes como a los de nueva construcción. De esta manera se contribuiría a mejorar la calidad y el funcionamiento de los edificios durante su vida útil, ahorrando dinero, y por tanto contribuyendo a mejorar la calidad de vida de la sociedad y

crear un entorno más sostenible, eficiente y respetuoso con el medio ambiente.

II. METODOLOGÍA

Para realizar este trabajo de investigación, se han seleccionado dos edificios sobre los que hacer propuesta para sensorizar sus estructuras (principalmente mediante el uso de fibra óptica), calcular el coste de implementar y mantener esta tecnología, y estimar el ahorro de dinero que supone la aplicación de esta tecnología a la hora de hacer el mantenimiento preventivo de la estructura. En otras palabras, estimar el ahorro de dinero que supone el realizar

TABLA I
DIFERENTES TIPOS DE SENSORES

Sensor	Qué mide
Fibra óptica	Deformación, grietas, humedad, temperatura, pH, vibraciones, oxígeno, hidrógeno
Piezoeléctrico	Deformación
Emisión acústica	Oxidación, grietas

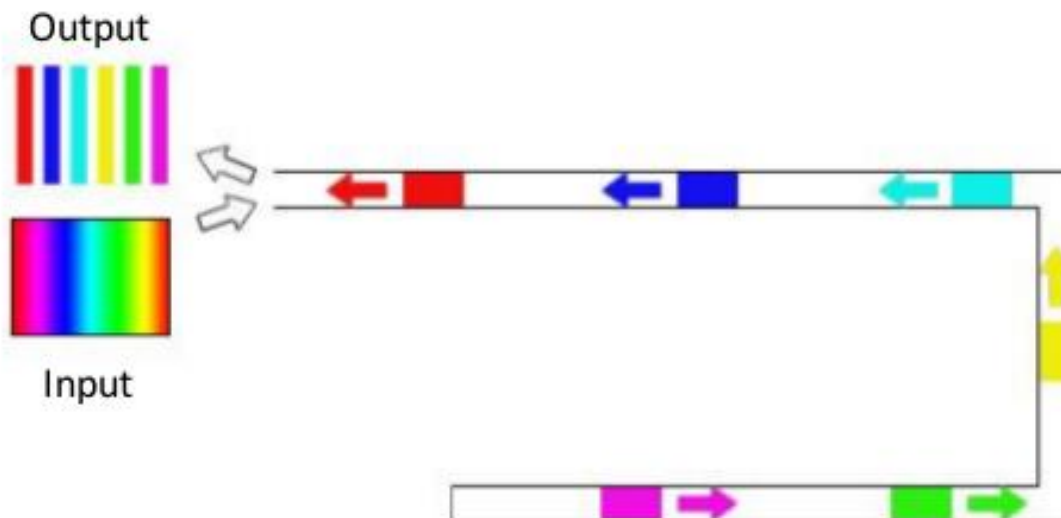


Fig. 3. Funcionamiento del Fibre Bragg Gratings (FBG).

mantenimiento preventivo de la estructura usando sensores, en comparación con hacer mantenimiento preventivo de la estructura sin sensores (es decir, como se realiza actualmente, mediante inspecciones periódicas, etc.).

Para que el enfoque sea lo más amplio posible, los dos edificios elegidos para realizar el estudio son muy diferentes entre sí, tanto en tipología constructiva, tipo de estructura, edad, materiales, etc. Así, uno de los edificios elegidos ha sido el edificio de Neàpolis (ver Figura 1), construido en el año 2007 (con estructura de hormigón armado, forjados reticulares, etc.). El otro ha sido la iglesia de Sant Antoni Abat (ver Figura 2), construida en el año 1693, (con estructura de paredes de carga de piedra, contrafuertes, arcos y bóvedas, etc.). Ambos edificios se encuentran en Vilanova i la Geltrú (Barcelona).

A. Tipos de sensores

Uno de los primeros pasos de la investigación ha sido estudiar los diferentes tipos de sensores existentes, con objeto de elegir aquellos que sean idóneos para la investigación realizada. Como una primera aproximación general, los sensores los podemos clasificar tal y como se presenta en la Tabla 1, donde también se visualizan los datos que mide cada tipo de sensor (Lau et al., 2002).

De acuerdo con la distribución espacial de los valores medidos de los sensores de fibra óptica (FOS), el sensor puede ser clasificado en diferentes tipos:

1. Sensor de punto. La medición con sensores de punto se lleva a cabo sólo en un único punto de la fibra.
2. Sensor integrado. La medición con sensores integrados promedia un parámetro físico a lo largo de una cierta sección de fibra y proporciona un valor único.
3. Sensor multiplexado. La medición con sensores multiplexados se define por un cierto número de puntos fijos y

discretos a lo largo de un solo cable de fibra óptica. El ejemplo más común son los multiplexados Fiber Bragg Gratings (FBG).

4. Sensor distribuido. La medición con sensores distribuidos se puede hacer en cualquier punto a lo largo de una fibra óptica con el sistema de medición basado en la dispersión (de la luz o de cualquier otra radiación electromagnética) de Rayleigh, Raman o Brillouin.

Para esta investigación sólo son útiles el tercer y el cuarto sensor. En comparación con el sensor multiplexado, una ventaja del sensor distribuido es el hecho de que no es necesaria una previa definición de la localización de los sensores. Sin embargo, en el presente estudio hemos determinado las posiciones adecuadas donde se deben situar los sensores en cada uno de los dos edificios, para obtener datos representativos. El mayor coste de los sensores distribuidos motivó que se decidiera en el presente estudio por los sensores multiplexados.

Los denominados Fiber Bragg Gratings (FBG) son similares a espejos muy pequeños formando una especie de rejilla, creados en una fibra óptica mediante un láser. Así, pequeñas partes de fibra se transforman en sensores de fibra óptica capaces de detectar datos del entorno local alrededor de esas zonas.

Para la detección se envía luz blanca a través de la fibra y las rejillas están dispuestas para reflejar determinadas longitudes de onda y transmitir las demás a lo largo de la fibra. Un dato de interés como la deformación, se puede determinar a partir de la longitud de onda reflejada desde cada rejilla. Esto significa que cada sensor está relacionado con un determinado color de la luz blanca y lo refleja. Si hay pequeños cambios, el color será diferente y el dispositivo puede convertir esta información en datos analizables. La figura 3 muestra este fenómeno.

En nuestro trabajo de investigación, seleccionamos como

FBG el sensor denominado «fos4strain» (ver Figura 4). Este sensor es inmune a las interferencias lumínicas y electromagnéticas.

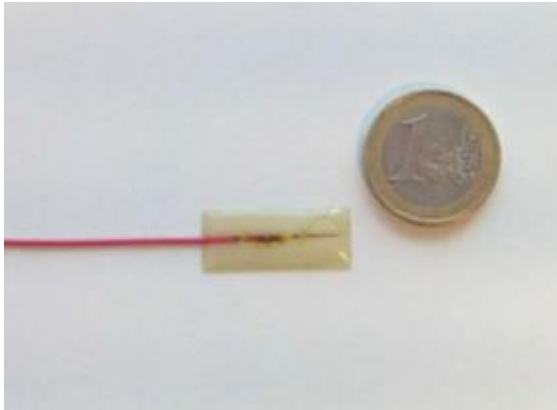


Fig. 4. Sensor «fos4strain».

Además de la fibra óptica, tal y como hemos visto en la Tabla 1, está el sensor de emisión acústica, el cual es capaz de detectar cambios en la estructura a través de captar las ondas acústicas de las vibraciones. Las causas de estas vibraciones son transformaciones estructurales en forma de grietas, movimientos y oxidación. Este sensor mide las ondas de alta frecuencia en un intervalo desde 10 kHz hasta varios MHz y los convierte en una señal eléctrica. La señal se digitaliza y se analiza a través de un software especial.

Decidimos por tanto incluir este tipo de sensor, por su capacidad de detectar la oxidación, cosa que no puede hacer, como hemos visto, el sensor de fibra óptica. Y la detección temprana de la oxidación se considera necesaria para realizar un adecuado mantenimiento preventivo de los edificios.

En nuestro trabajo de investigación, seleccionamos como sensor de emisión acústica el sensor denominado «AES150» (ver Figura 5).

B. Propuesta de diferentes niveles de intensidad

Para la implementación de sensores en las estructuras de los edificios, como principio general se propone que pueda haber diferentes niveles de intensidad en dicha sensorización o monitorización. Denominamos nivel de intensidad en la sensorización el colocar mayor o menor cantidad de sensores, y por tanto obtener mayor o menor cantidad de datos sobre la salud de la estructura, y también, gastar una mayor o menor cantidad de dinero en la sensorización (tanto en su implementación como en su posterior mantenimiento).

Se ha considerado oportuno introducir este concepto, ya que dependiendo del tipo de edificio, puede interesar que la sensorización sea más o menos intensa. Así por ejemplo, no es lo mismo plantear la sensorización estructural de una pequeña casa unifamiliar aislada, que de un gran hospital, o de un

edificio de alto valor arquitectónico, histórico y artístico, etc. En el primer caso puede ser suficiente con obtener pocos datos, es decir con un nivel de intensidad de sensorización bajo, mientras que en el segundo caso puede interesar tener un mayor control sobre la salud estructural y obtener mayor cantidad de datos, es decir con un nivel de intensidad de sensorización mayor.



Fig. 5. Sensor de emisión acústica «AES150».

En el presente trabajo de investigación hemos propuesto como base de partida tres niveles de intensidad de sensorización: bajo, medio y alto. En las siguientes figuras se muestran las propuestas de sensorización en planta para la iglesia Sant Antoni Abat y para Neàpolis, ambos con nivel de intensidad media, que es la que se ha considerado adecuada para estos dos edificios (ver Figuras 6, 7 y 8).

C. Evaluación de la viabilidad económica

Para evaluar el grado de viabilidad económica de la aplicación de sensores en las estructuras, se debe comparar el coste de realizar mantenimiento preventivo (sin el uso de sensores), con el coste de realizar mantenimiento preventivo mediante el uso de sensores. En base a este razonamiento, proponemos la siguiente expresión:

$$F = \frac{PMC \cdot T}{IC + (SSC + SPMC) \cdot T} \quad (1)$$

donde:

F = Viabilidad económica (Feasibility). Indica el grado de viabilidad económica de la inversión.

PMC = Coste de mantenimiento preventivo (Preventive Maintenance Cost). Representa el coste (anual promedio) de hacer mantenimiento preventivo de la estructura sin usar sensores (es decir, como se realiza

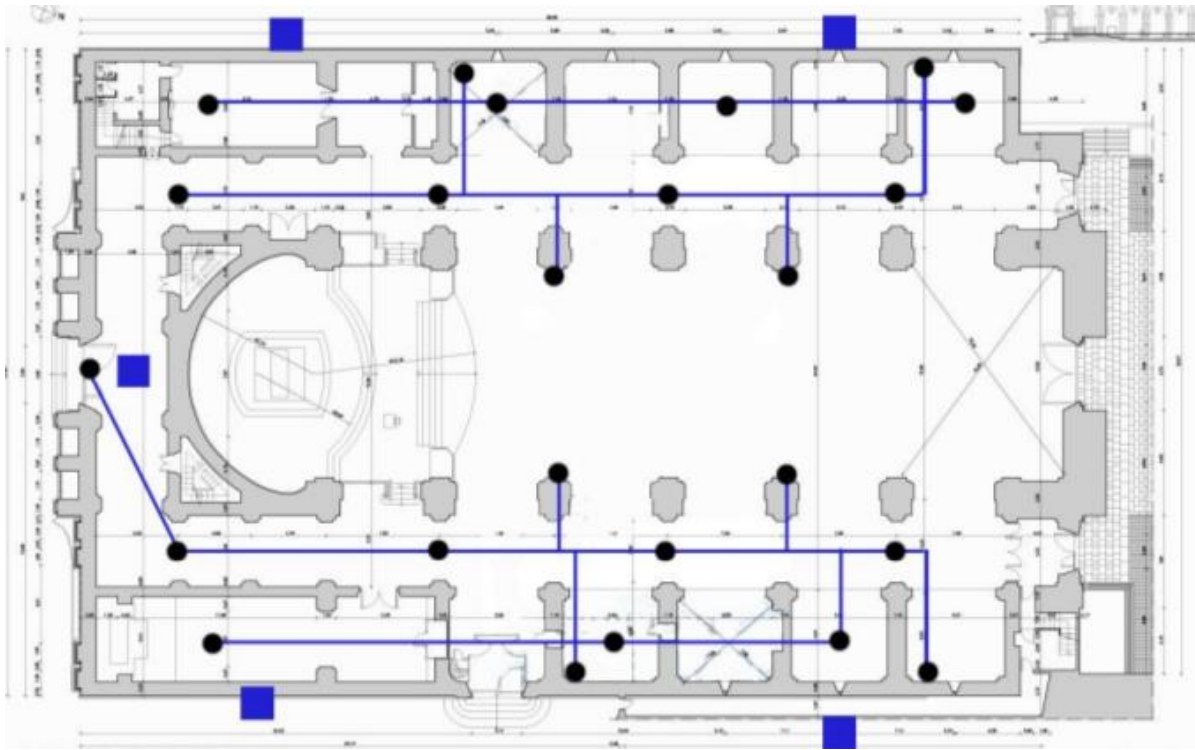


Fig. 6. Ejemplo de sensorización de intensidad media en la iglesia Sant Antoni Abat. Las líneas azules muestran la situación de la fibra óptica (en los arcos, bóvedas y columnas), los puntos negros indican la situación de los sensores en la fibra. Los cuadrados azules indican la situación de los sensores de emisión acústica.



Fig. 7. Ejemplo de sensorización de intensidad media en el edificio Neapolis. Las líneas azules muestran la situación de la fibra óptica (en forjados y pilares), los puntos violetas indican la situación de los sensores en la fibra.

actualmente, mediante inspecciones periódicas, etc.).

IC = Coste inicial (Initial Cost). Representa el coste de implementar el sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye el coste de los sensores y de fibra

óptica que se instala, el coste de su instalación y el coste del software para obtener y gestionar los datos.

SSC = Coste del sistema inteligente (Smart System Cost). Representa el coste (anual promedio) de mantener el

sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye la reparación o renovación de cables (de fibra óptica) o sensores que tengan disfunciones; el mantenimiento del software que controla el sistema; el coste de la gestión de datos obtenidos por el sistema.

SPMC = Coste de mantenimiento preventivo inteligente (Smart Preventive Maintenance Cost). Representa el coste (anual promedio) de realizar mantenimiento preventivo de la estructura usando sensores.

T = Tiempo (Time). Es el tiempo (en años) durante el que se realiza el estudio comparativo.

D. Grados de viabilidad económica de la inversión

A partir de los resultados que se obtengan de la ecuación (1) tenemos que:

- Si $F < 1$ indica que la inversión no es rentable.
- Si $1,01 < F < 1,25$ indica que la inversión es levemente rentable, con un pequeño margen para desviaciones.
- Si $1,26 < F < 1,50$ indica que la inversión es rentable, con apreciable margen para absorber posibles desviaciones.
- Si $F > 1,51$ indica que es una inversión sólidamente rentable, con elevado retorno de la inversión.

E. Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

En caso de que la inversión sea rentable ($F > 1$), interesa conocer el momento a partir del cuál se empieza a obtener beneficio neto (el beneficio supera a la inversión inicial). Este momento se visualiza en la Figura 9, donde se observa el punto de retorno de la inversión (Break-Even-Point). Se observan

también los siguientes aspectos importantes conceptualmente:

- Las dos curvas son de pendiente constante (son rectas), al considerarse que el coste promedio anual de mantenimiento en ambos casos es constante.
- La recta PMC (color rojo) empieza en el origen de coordenadas, al no haber coste inicial para $T = 0$.
- La recta SPMC (color verde) empieza en el eje de abscisas al haber coste inicial para $T = 0$.
- La pendiente de la recta SPMC es inferior a la pendiente de la recta PMC, es decir:

$$\frac{dSMC(T)}{dT} < \frac{dPMC(T)}{dT}$$

Esto es debido a que consideramos que utilizando sensores (estructura inteligente) el coste de mantenimiento preventivo es inferior a realizar mantenimiento preventivo sin sensores.

Para determinar analíticamente el valor de T (tiempo, en años, a partir del cual se empiezan a obtener beneficios netos), partimos de la ecuación (1) e igualamos a 1 ($F = 1$). Despejando, obtenemos la ecuación (2), que nos permite hallar el valor de T.

$$T = \frac{IC}{PMC - (SSC + SPMC)} \quad (2)$$

III. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS

Una vez explicado el planteamiento general y las ecuaciones matemáticas propuestas para determinar el grado de viabilidad



Fig. 8. Propuesta de situación de sensores de emisión acústica en el edificio Neàpolis.

económica de las estructuras inteligentes, vamos a explicar a continuación la metodología para determinar el valor de los diferentes parámetros que inciden en las expresiones matemáticas antes explicadas.

PMC = Coste de mantenimiento preventivo (*Preventive Maintenance Cost*)

Representa el coste (anual promedio) de hacer mantenimiento preventivo de la estructura sin usar sensores (es decir, como se realiza actualmente, mediante inspecciones periódicas, etc.).

Para determinar este valor se ha realizado lo siguiente:

- Preguntar si en los dos edificios objeto del estudio (Neàpolis e iglesia Sant Antoni Abat) existen datos del coste anual que representa hacer mantenimiento preventivo. En ninguno de estos dos edificios existen estos datos.
- Obtener datos de gastos varios en los últimos años realizados en estos dos edificios en materia de reparación y mantenimiento.
- Estudiar bibliografía sobre costes de mantenimiento preventivo en edificios antiguos y en edificios de reciente construcción.

IC = Coste inicial (*Initial Cost*)

Representa el coste de implementar el sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye el coste de los sensores y de fibra óptica que se instala, el coste de su instalación y el coste del software para obtener y gestionar los datos.

Para determinar este valor se han consultado empresas del sector que comercializan e instalan los sensores propuestos y la fibra óptica.

SSC = Coste del sistema inteligente (*Smart System Cost*)

Representa el coste (anual promedio) de mantener el sistema de sensores de la estructura inteligente. Incluye la reparación o renovación de cables (de fibra óptica) o sensores que tengan disfunciones; el mantenimiento del software que controla el sistema; el coste de la gestión de datos obtenidos por el sistema. Para determinar este valor se ha realizado lo siguiente:

- Tener en cuenta la vida útil promedio de cada tipo de sensor y de la fibra óptica; el coste de extraer y colocar nuevos sensores y fibra óptica (cuando dejen de funcionar por disfunción o por haber superado su vida útil); coste de revisiones periódicas del sistema por parte de ingeniero informático o similar.
- Para determinar los valores citados en el punto anterior se han consultado empresas del sector que comercializan e instalan los sensores propuestos y la fibra óptica.

SPMC = Coste de mantenimiento preventivo inteligente (*Smart Preventive Maintenance Cost*)

Representa el coste (anual promedio) de realizar mantenimiento preventivo de la estructura usando sensores y fibra óptica.

Para determinar este valor, consideramos los siguientes factores que suponen ahorro respecto PMC:

- Es necesaria menor cantidad de tiempo (y por tanto, menor cantidad de coste) de técnico (arquitecto técnico o ingeniero de edificación, etc.) en inspección y diagnóstico del edificio. En efecto, en PMC, el técnico debe revisar periódicamente el edificio (lo que supone considerable

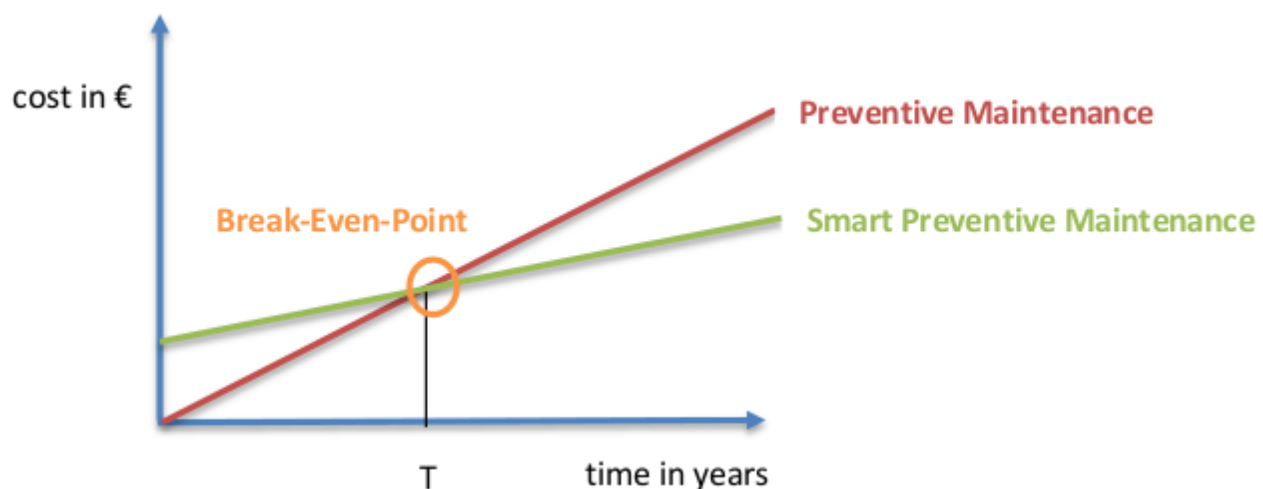


Fig. 9. Punto de retorno de la inversión (Break-Even-Point).

cantidad de tiempo, dependiendo de diversos datos del edificio: tamaño, tipología constructiva, número y características de las disfunciones existentes, etc.). En cambio en SMPC, el técnico, incluso desde su casa o despacho, puede obtener en su ordenador o smartphone los datos sobre el estado de salud del edificio en cuestión, reduciendo así notablemente el tiempo que debe dedicar el técnico.

- Mediante SPMC podemos saber antes cuándo aparece disfunción (el software del sistema puede incluir aplicativo que avise al técnico de cabecera en caso de que aparezcan disfunciones, o cuando estas superen cierta magnitud). Esta detección más temprana de las disfunciones en SPMC respecto PMC, permite que las terapéuticas aplicadas en SPMC sean más económicas. Para la aplicación del mencionado software, puede ser de utilidad el uso de una escala de gravedad de daños en edificios, que permita la clasificación de los daños en función de su grado de gravedad (Ruiz, 2014).
- Derivado del anterior punto, cabe introducir también otro tipo de coste adicional. En efecto, si el edificio tiene disfunciones graves, no solo hay que gastar dinero en repararlo. También hay que considerar que los usuarios del edificio probablemente deberán tomar unas medidas que les pueden generar perjuicios. Entre estas medidas pueden estar las siguientes: desalojo provisional del edificio (o de parte del mismo), hacer desplazamientos más largos (por ejemplo en caso que las personas que trabajaban en las oficinas del edificio deban ir provisionalmente a un lugar más alejado), etc. Estos perjuicios deben ser tenidos en cuenta y valorados económicamente, en este coste adicional. Así, la detección más temprana de las disfunciones en SPMC respecto PMC, repercute en un menor coste adicional en SPMC respecto PMC.

Cabe decir que de todos los parámetros estudiados (PMC, IC, SSC y SPMC), SPMC es el que presenta mayor dificultad para obtener resultados con elevado grado de certidumbre. En parte esto es debido a que, en base a los estudios que hemos realizado, no nos consta que haya ningún edificio en el mundo con estructura inteligente, del que poder extraer datos experimentales. Por otro lado, en las pocas construcciones en que sabemos que se usa el concepto de estructura inteligente (algún puente, central térmica, etc.), no consta que haya ningún estudio económico sobre el ahorro que supone el uso de esta tecnología en comparación a no usarla.

Para obtener valores consistentes de SPMC, lo ideal sería disponer de varios edificios piloto con estructuras inteligentes, e ir obteniendo datos experimentales de los costes de SPMC.

IV. CONCLUSIONES

Tras aplicar la metodología y expresiones matemáticas propuestas a los dos edificios estudiados se obtiene en ambos casos que $F > 1$ (la inversión es rentable). Análogamente, se obtiene que para la iglesia de Sant Antoni Abat, $T = 10$ años (el periodo de recuperación de la inversión es de 10 años); y para el edificio Neàpolis, $T = 15$ años.

Estos resultados indican que, además de que el uso de esta tecnología es rentable, que su rentabilidad es mayor en edificios antiguos que en edificios de reciente construcción. Esto último parece razonable que así sea ya que, en un edificio antiguo, por el hecho de tener una mayor probabilidad, en principio, de sufrir disfunciones relevantes, el hecho que mediante el uso de sensores podamos detectar de manera más temprana estas disfunciones, nos permite mayores ahorros de dinero al reducir los costes de reparación, frente a la opción de mantenimiento preventivo sin uso de sensores.

En cambio, en edificio de reciente construcción (que esté bien construido, por tanto, sin errores relevantes de proyecto, ni de ejecución, ni defectos de materiales, etc.), existe, en principio, una menor probabilidad de sufrir disfunciones relevantes, por lo que el ahorro es menos significativo respecto a la opción de mantenimiento preventivo sin uso de sensores.

Se recuerda aquí que en el edificio de reciente construcción, se parte de la premisa que el edificio está construido sin sensores, y que a posteriori se instalan los sensores y la fibra óptica (adherida en superficie, como se ha comentado). En el caso de edificio que se construya ya de inicio con estructura inteligente, los resultados pueden ser diferentes, probablemente con una mayor rentabilidad. Esto es así ya que es probable que el coste inicial (IC) sea algo menor, en comparación con el coste inicial en el caso de edificio existente en el que se instalan los sensores a posteriori. Además, en edificios de nueva construcción se pueden aplicar otros tipos de tecnologías con objeto de monitorizar las estructuras de hormigón armado, como el denominado polvo inteligente (en inglés, smartdust), el cual ya se explicó en el anterior artículo (Ruiz y Llorens, 2012).

Conviene resaltar que la utilización de sensores y fibra óptica en los edificios se puede aprovechar para objetivos más amplios a los referidos de la monitorización estructural y la optimización de la gestión de la salud estructural del edificio. En efecto, esta tecnología se puede utilizar también en el campo de la domótica y de la eficiencia energética del edificio, consiguiendo así un concepto integral de edificio inteligente, Smart building.

Todo lo explicado en el presente artículo y en el anterior, apunta hacia la bondad del uso de las estructuras inteligentes, tanto desde el punto de vista técnico como económico. Así, tal vez en unos años empiece a ser frecuente la existencia de edificios inteligentes, tanto en materia de estructuras inteligentes, como en materia de eficiencia energética y

domótica, pudiendo incluso quedar recogidos estos aspectos a nivel de normativa.

Como es evidente, los aparejadores, arquitectos técnicos e ingenieros de edificación, por la formación académica recibida de alto nivel científico técnico y transversal, somos unos profesionales perfectamente indicados para intervenir en el campo de las estructuras inteligentes, así como de la eficiencia energética de los edificios y de la domótica, y más en general en materia de smart cities. Análogamente, otras profesiones también son idóneas para intervenir en esta materia, siendo este uno de los numerosos ejemplos que muestran que es necesario que haya una buena colaboración y entendimiento entre diferentes profesiones, así como significativo grado de transversalidad bidireccional entre estas, con objeto de conseguir la máxima eficacia y ser de la máxima utilidad a la sociedad.

REFERENCIAS

- Lau, K., Zhou, L., Tse, P. y Yuan, L. (2002). Applications of Composites, Optical Fiber Sensors and Smart Composites for Concrete Rehabilitation: an Overview. *Applied Composite Materials*. The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. 9, pp. 221-247.
- Ruiz, F. y Llorens, A. (2012). Les estructures intel·ligents. Aplicació de les noves tecnologies per la gestió de la salut estructural dels edificis. *L'Informatiu*. Col·legi d'Aparelladors, Arquitectes Tècnics i Enginyers d'Edificació de Barcelona. Número 333, pp. 98-103.
- Ruiz, F. (2014). Escala de gravedad de daños en edificios: de la asignación directa a la contrastación estadística. Tesis doctoral. ETS de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona-UPC.



Reconocimiento – NoComercial (by-nc): Se permite la generación de obras derivadas siempre que no se haga un uso comercial. Tampoco se puede utilizar la obra original con finalidades comerciales.