

# Les estructures intel·ligents

Aplicació de noves tecnologies per a la gestió de la salut estructural dels edificis



**Fèlix Ruiz**  
Arquitecte tècnic i enginyer  
d'obres públiques  
Professor del CAATEEB



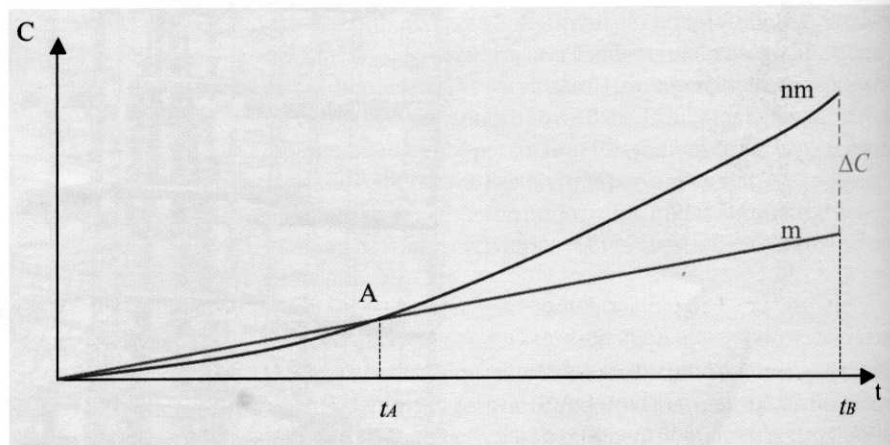
**Ariadna Llorens**  
Enginyera industrial  
Professora del Departament  
d'Organització d'Empreses  
de la UPC

## La importància del manteniment

Quan es pensa en un element constructiu de formigó armat, clarament s'associa a un ésser inanimat, de la mateixa manera que una pedra també s'associa a un ésser inanimat. Però, i si fos possible dotar a aquest element de formigó armat, a aquest ésser inanimat, d'un sistema nerviós que li permetés transmetre dades sobre el seu estat de salut (fissuracions, deformacions, humitats, carbonatació, oxidació, etc)? I si això fos possible realitzar-lo amb tota l'estructura d'un edifici? Clarament aportaria importants beneficis, en facilitar significativament el manteniment dels edificis i detectar precoçment les patologies existents. Això que sona en certa manera a ciència ficció, no ho és en absolut; tal com expliquem en aquest article, existeix tecnologia per dur-ho a terme.

Com concepte bàsic de partida cal dir que està plenament demostrat que és molt millor realitzar manteniment preventiu en els edificis, que no realitzar-lo i intervenir quan hi ha greus lesions (manteniment correctiu). En efecte, amb el manteniment preventiu s'eviten d'una banda situacions de risc per a les persones (lesions molt greus que poden produir col·lapses d'edificis o de parts dels mateixos, desprendiments de façanes a via pública, etc.).

D'altra banda resulta més econòmic realitzar manteniment d'un edifici i inspeccions periòdiques, que no realitzar



**FIG. 1.** RELACIÓ COST ACUMULAT (C) - TEMPS (T), EN LES OPCIONS DE MANTENIMENT (O MANTENIMENT PREVENTIU) I DE NO MANTENIMENT (O MANTENIMENT CORRECTIU)

manteniment i rehabilitar-lo quan està fortament degradat. Aquest concepte queda reflectit en la següent gràfica que es mostra en la figura 1.

En aquesta gràfica s'aprecia que mentre en l'opció de manteniment (m), l'evolució del cost acumulat és lineal, atès que es van realitzant petites operacions de manteniment periòdic que suposen petits costos periòdics, en l'opció de no manteniment (nm) es produeix una corba de tipus exponencial, ja que com més gran és t, és a dir com més temps ha passat sense que en l'edifici s'hagi realitzat cap operació de manteniment, major serà el cost per a retornar l'edifici a un bon estat de salut, i com més degradat estigui l'edifici, tant més ràpidament es degradarà, produint d'aquesta manera que la corba

sigui de tipus exponencial.

És a dir, que en un edifici on no s'hagi fet manteniment, el cost per a resoldre les patologies importants que té és clarament superior al cost acumulat que hagués resultat de fer operacions periòdiques de manteniment en aquest edifici. Aquesta diferència de cost es visualitza clarament en la gràfica en ( $\Delta C$ ), que en tal gràfica es dona per a tB.

El moment tA en la gràfica correspon al cost acumulat de fer manteniment en un edifici és el mateix cost que si en l'edifici no s'ha fet cap manteniment, i per a tA es decideix intervenir per a deixar-lo en correcte estat. Si bé el cost és el mateix en les dues opcions, cal dir que en l'opció de manteniment presenta l'avantatge que el cost s'ha anat pagant en petites quantitats periòdiques, mentre que en l'opció sense manteniment tot el cost s'ha d'assumir de cop.

Per a tA, tB i  $\Delta C$  no es dona cap valor numèric, ja que la gràfica representa el cas general, i aquest valor numèric depèn de cada cas particular d'edifici. De fet el concepte d'aquesta gràfica també és d'aplicació a altres tipus de construccions diferents als edificis, com són preses, ponts, carreteres, murs de contenció, etc.

Cal dir que la recta que defineix l'opció de manteniment (m), en realitat és una simplificació de la realitat. En el cas real

(1) En la curva (nm) de no manteniment o manteniment correctiu, s'ha eliminat la taxa de disfuncions que es poden produir en les primeres edats de l'edifici (per errades de projecte, d'execució, defectes dels materials, etc.). Si no s'elimina aquesta taxa de disfuncions el resultat és la denominada corba de banyera o corba de Davies.

*A Catalunya s'han realitzat recentment investigacions científiques pioneres en el camp de les estructures intel·ligents*

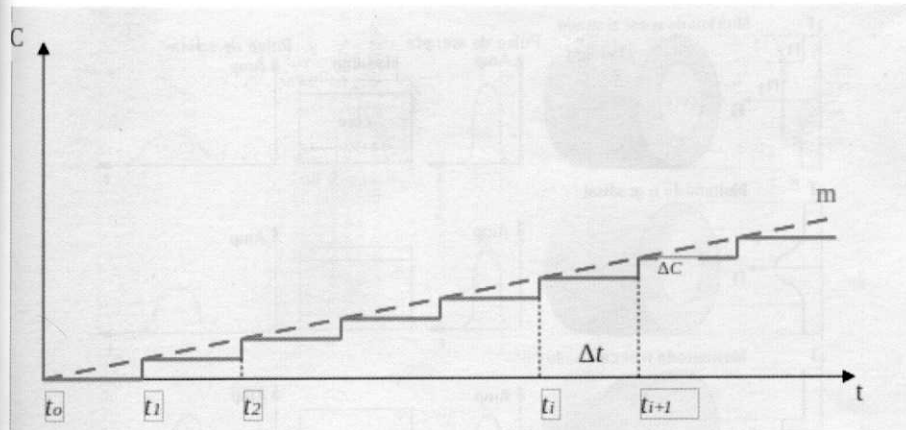


FIG. 2. GRÀFICA ESGRAONADA DE COST ACUMULAT EN L'OPCIÓ DE MANTENIMENT PERIÒDIC

de realitzar manteniment periòdic de l'edifici, es realitzen operacions de manteniment que es tradueixen en petites despeses amb certa periodicitat. Aquesta evolució real escalonada queda representada en la següent Figura 2.

En aquesta gràfica la corba real cost-temps en l'opció manteniment es la corba esgraonada, quedant simplificada per la recta (m). Així, en la corba esgraonada, per a cada període de temps d'anàloga durada ( $\Delta t$ ) es produeix una despesa o increment de cost ( $\Delta C$ ) d'anàloga quantitat a les anteriors<sup>2</sup>, i aquestes despeses es produeixen en cada  $t_i$ , que és quan es realitzen les operacions periòdiques de manteniment.

### Les estructures intel·ligents per a optimitzar el manteniment dels edificis

En aquest marc, pot resultar de gran interès la utilització de les noves tecnologies, amb la finalitat de facilitar i optimitzar la gestió de la salut estructural i el manteniment dels edificis, i contribuir així de manera decisiva a allargar la vida útil dels mateixos i reduir costos.

El concepte bàsic és dotar a l'estructura d'un edifici d'uns sensors (especialment continus i de fibra òptica), de manera que l'estructura queda dotada d'un sistema nerviós i és capaç de transmetre dades d'interès sobre el seu estat de salut (deformacions, fissuracions, tensions, humitats, etc.). Anàlogament, l'estructura pot avisar a través d'un sistema de veu si alguna part d'aquesta estructura pateix alguna lesió que supera uns paràmetres preestablerts. Tot això

queda clarament emmarcat dintre del concepte global de *smart city* (ciutat intel·ligent) i de *smart materials* (materials intel·ligents). De fet, aquest tipus d'estructures referides se solen denominar *estructures intel·ligents*.

Cal ressaltar que aquest interessant i útil tema és innovador ja que no hi ha constància de cap edifici en el món que tingui estructura intel·ligent. Tan sols a la Xina, en l'any 2008 es va utilitzar sistema de monitoratge amb fibra òptica durant la construcció de l'edifici Dongsheng Garden A5, per a verificar, entre altres coses, que les tensions i deformacions que es produïen en els elements estructurals durant la construcció eren coherents amb les previstes en projecte. Però com s'ha dit, aquest monitoratge es va realitzar només durant la construcció de l'edifici, no posteriorment per a ajudar a gestionar el manteniment i la salut estructural de l'edifici una vegada construït.

Anàlogament s'ha de ressaltar que a Catalunya s'han realitzat recentment investigacions científiques pioneres en el camp de les estructures intel·ligents, que expliquem més endavant.

### Fibra òptica

En primer lloc és d'interès explicar algunes nocions bàsiques sobre la fibra òptica, Optical Backscatter Reflectometer (OBR). La fibra òptica és un mitjà de transmissió emprat habitualment en xarxes de dades;

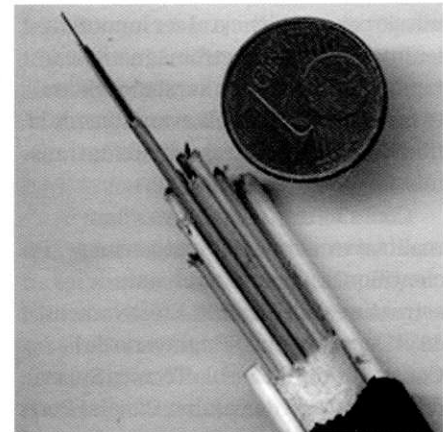


FIG. 3. VISTA DE FIBRES ÒPTIQUES

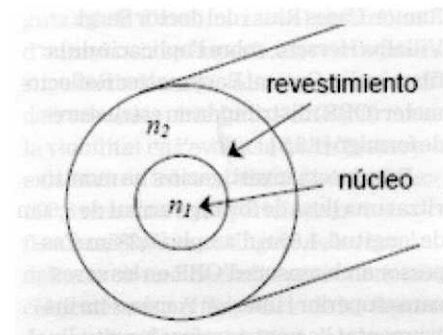


FIG. 4. SECCIÓ DE UNA FIBRA ÒPTICA

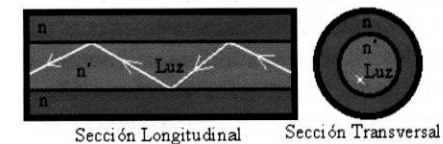


FIG. 5. ESQUEMA DE PROPAGACIÓ DEL FEIX DE LLUM PER L'INTERIOR DE LA FIBRA

un fil molt fi (d'un diàmetre orientatiu de  $125\mu\text{m}$ , és a dir, del gruix aproximat d'un cabell) de material transparent, vidre o materials plàstics, pel qual s'envien polsos de llum que representen les dades a transmetre. El feix de llum queda completament confinat i es propaga per l'interior de la fibra amb un angle de reflexió per sobre de l'angle límit de reflexió total, en funció de la llei de Snell. La font de llum pot ser làser o un LED.

Les fibres s'utilitzen àmpliament en telecomunicacions, ja que permeten enviar gran quantitat de dades a una gran distància, amb velocitats similars a les de ràdio o cable. Són el mitjà de trans-

*La tecnologia OBR es pot utilitzar també en el camp de la domòtica i de l'eficiència energètica aconseguint així un concepte integral d'edifici intel·ligent*

(2) S'entén que en aquesta afirmació no es considera l'increment anual de preus de consum.

