



MESURAR PER REHABILITAR MILLOR

El monitoratge *in situ* d'un edifici residencial a Badalona permet contrastar les previsions de projecte amb el comportament tèrmic real abans i després de la rehabilitació energètica.

Text: Joan Olona
Fotos: iStock

Des de l'any 2010, un equip d'investigadors de la Universitat Politècnica de Catalunya hem estat desenvolupant un projecte de recerca sobre la millora de l'eficiència energètica del patrimoni immoble, centrat en l'estudi del comportament de casos reals. Aquesta recerca pretén elaborar una metodologia d'actuació analitzant quatre aspectes fonamentals: el diagnòstic energètic respecte de la demanda i el rendiment, el comportament energètic a partir del monitoratge dels edificis, el consum energètic en relació amb indicadors i el grau de confort dels usuaris.

Amb aquesta finalitat, en una fase inicial es van seleccionar una sèrie d'edificis emblemàtics, de diverses èpoques històriques i amb solucions constructives diferents, per tal d'identificar la problemàtica pròpia en cada cas. Els resultats d'aquesta recerca inicial es van presentar dins la XXXVI edició de les Jornades Internacionals sobre la Intervenció en el Patrimoni Arquitectònic, organitzades per AADIPA el desembre

de 2013. Una de les conclusions més importants va identificar que calia tenir un coneixement real sobre el comportament dels edificis per tal d'encertar les possibles solucions de millora, entenent l'edifici més enllà de valors absoluts i teòrics.

Els darrers anys, s'ha monitorat i extret conclusions en una àmplia tipologia d'edificis i solucions constructives per tal de fer compatible la rehabilitació energètica amb els valors propis dels edificis. Aquesta metodologia respon als plantejaments del segell GBC HISTORIC BUILDINGS per edificis amb un alt valor patrimonial, ja que permet obtenir un coneixement sobre el comportament real dels edificis, per tal d'optimitzar les propostes d'intervenció, minimitzant costos i actuant sobre els principals punts febles de l'edifici enfront d'actuacions maximalistes o genèriques. Alhora, és útil per avaluar la resta de casos d'edificis on els valors patrimonials no formen part de l'equació, però on cal controlar els costos de la inversió a realitzar i determinar-ne l'eficàcia.

TÈCNICA

En el cas que ens ocupa, l'estudi que es presenta partia de la premissa d'obtenir dades reals de la millora en la intervenció en els edificis que componien el conjunt residencial a l'avinguda de la Solidaritat 41-43, al barri de Llefia, municipi de Badalona (Barcelona). Aquest enclavament forma part del teixit urbà consolidat de l'àrea metropolitana, caracteritzat per edificacions plurifamiliars d'alta densitat desenvolupades durant les dècades dels anys 1960 i 1970. El conjunt està format per dos edificis adossats de nou plantes sobre rasant, que comparteixen una mitgera estructural. A la planta baixa, cada bloc disposa d'un habitatge i un local comercial, mentre que les plantes tipus (de la 1a a la 8a) i la planta àtic s'organitzen amb dos habitatges per planta. Segons els documents tècnics facilitats per l'equip projectista de la intervenció de rehabilitació energètica, l'edifici va ser construït l'any 1977, seguint una tipologia estructural de pòrtics de pilars i forjats de formigó armat. Pel que fa a l'envolupant, les façanes principals estan construïdes amb maó vist ceràmic sense aïllament tèrmic, resolent el tancament amb un sistema de doble fulla ceràmica i cambra d'aire no ventilada. Aquest sistema no disposa de cap aïllament tèrmic, fet que genera valors de transmissió tèrmica teòrica elevats ($U \approx 1,36 \text{ W/m}^2\text{K}$).

Consideracions tèrmiques

El comportament tèrmic dels tancaments en situacions reals es caracteritza per la variació de les condicions de l'entorn, i és freqüent la modificació de les característiques de l'ambient interior quan es varia la càrrega tèrmica interna o es posen en funcionament sistemes de climatització. Encara és més habitual la variació de les condicions ambientals exteriors, amb cicles diaris de modificació de les temperatures i de l'assolellament, o amb alteracions ràpides i aleatòries de les condicions de vent i de nuvolositat.

La conseqüència d'aquesta variabilitat ambiental és que el tancament gairebé mai no es troba en equilibri, sinó que està sotmès a processos variables d'augment o disminució de temperatura, amb acumulació o dissipació de calor a l'interior.

El valor de la transmissió també es pot determinar pel flux de calor que denominem q (quantitat de calor que travessa una superfície unitària per unitat de temps i es mesura en W/m^2) dividit per l'àrea del tancament i per la diferència de temperatures dels medis situats a cada costat de l'element considerat. La condició fonamental de la conducció de la calor en règim estacionari és l'existència d'un equilibri termodinàmic que mantingui les temperatures estables en cada punt del tancament. En principi, el valor U es pot obtenir mesurant el flux de calor mitjà que travessa un tancament amb un fluxòmetre, sempre que les temperatures als dos costats de l'element es trobin en condicions d'estat estacionari. Tanmateix, com que aquestes condicions no es poden

assolir mai *in situ* a la pràctica, aquest mesurament no és possible. No obstant això, hi ha diverses maneres de superar aquesta dificultat, assumint que les mitjanes dels valors de flux i de temperatura en un període de temps suficientment llarg proporcionen una bona estimació de les condicions d'estat estacionari. Aquest mètode és vàlid sempre que:

1. Les propietats tèrmiques dels materials i els coeficients de transmissió de calor siguin constants dins del rang de fluctuacions de temperatura durant el test.
2. L'increment de la quantitat de calor acumulada en l'element sigui negligible en comparació amb la quantitat de calor que travessa l'element.

El mètode de mesura del flux de calor és aplicable a components que permetin una transmissió de calor predominantment perpendicular, o en els quals els fluxos laterals siguin poc significatius, és a dir, on no hi hagi ponts tèrmics adjacents, cosa que es pot detectar mitjançant termografia infraroja. Per millorar la fiabilitat dels resultats es poden considerar mitjanes de mesures obtingudes amb diversos fluxòmetres.

Procés de monitoratge

Segons la norma ISO 9868, la durada mínima del test és de 72 hores si la temperatura es manté estable al voltant del HFM. Si no és així, cal allargar-lo fins als 7 dies. S'acostumen a utilitzar intervals de 30 minuts o d'1 hora en el mètode de la mitjana.

Per tal de col·locar els aparells, es verifica l'existència de ponts tèrmics i/o discontinuïtats constructives amb l'objectiu d'evitar errors en la presa de mesures. Seguidament, s'han disposat els fluxòmetres en els diferents punts, adherits superficialment als diversos punts de

> Aparells de mesura mitjançant la termografia infraroja.



> Aparells de mesura del flux de fred i calor.

l'envolupant dels habitatges. Els *dataloggers* es col·loquen a l'interior de l'habitatge, al més a prop possible de la ubicació del fluxòmetre, i de l'altra, a l'exterior, evitant la incidència directa de la radiació solar i de la pluja, així com garantint una ventilació natural correcta.

Una vegada recollides les dades, s'empra el mètode de la mitjana per calcular els valors de la transmissió. Aquest mètode assumeix que la transmissió es pot obtenir dividint la mitjana del flux de calor per la mitjana de la diferència de temperatures, sempre que les dades s'hagin obtingut en un període de temps suficient.

Per tal que els valors siguin acceptats, cal validar que no concorrin algunes o la combinació dels factors següents:

- Els valors assumits de les propietats tèrmiques dels materials no són correctes o no estan actualitzats (principalment en el cas dels materials aïllants).
- Els gruixos de les capes no s'han estimat correctament.
- Les mesures del valor U s'han obtingut sota condicions tèrmiques poc adequades, és a dir, amb diferències de temperatura interior-exterior baixes, considerades inferiors a un salt tèrmic de 5-10 °C.

A causa dels condicionants de la norma ISO pel que fa al nombre mínim de dades necessàries per donar per vàlids els valors obtinguts, que és d'un mínim de 72 hores, es va dur a terme una campanya de mesures correlatives en cada habitatge, mantenint els aparells instal·lats durant un mínim de set dies en cada punt d'observació, amb una producció d'energia constant, en una habitació de l'habitatge tancat, per mantenir les condicions de contorn el màxim de definides possibles.

Avaluació de les dades obtingudes

L'avaluació de les dades en l'edifici objecte d'estudi es va realitzar el mes de febrer de l'any 2025 i 2026, abans i després de la intervenció de rehabilitació energètica,

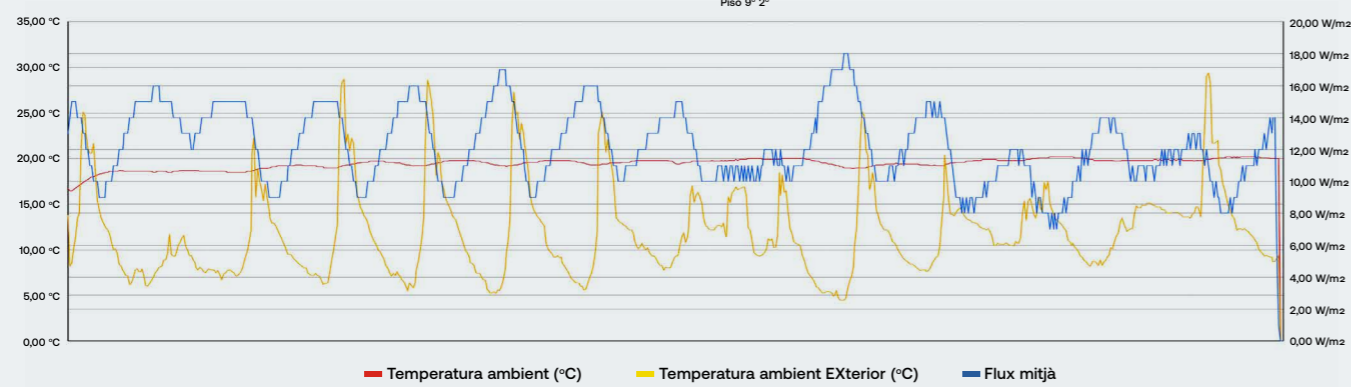
consistent en la disposició d'un aïllament tèrmic per la cara exterior de la façana, així com del canvi de fusteries en el conjunt de l'edifici.

Verificats els valors absoluts dels càlculs realitzats, indiquen una reducció de la transmissió i del flux d'energia d'un 30% en els períodes de salts tèrmics superiors a 10°C. Tanmateix, tenint en compte la constant variació de les condicions ambientals, cal sempre verificar el conjunt dels períodes analitzats, més enllà dels valors absoluts obtinguts.

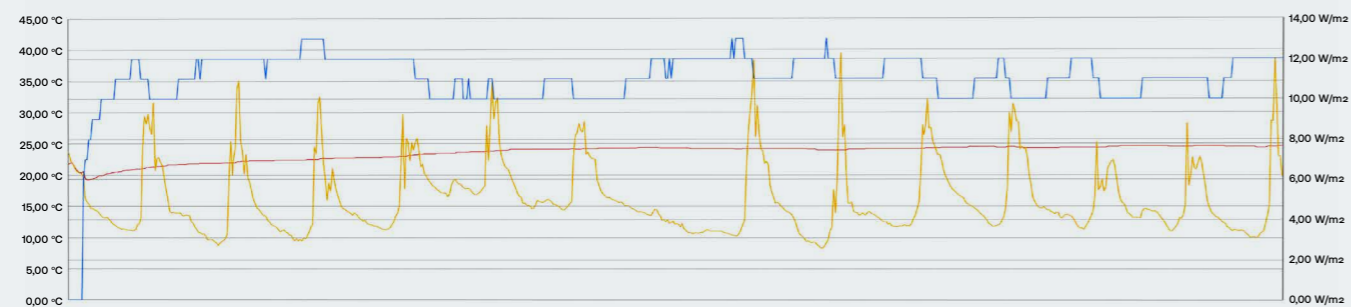
En la primera lectura de les mesures el primer any, es pot observar un comportament oscil·lant del flux d'energia (línia blava) en les gràfiques de registre de les dades. Aquest fet respon a la variació tèrmica exterior. Com més baixa és la temperatura exterior, més flux d'energia de l'interior cap a l'exterior es detecta. És a dir, l'energia produïda a l'interior de l'edifici no té cap impediment per alliberar-se a l'exterior. Alhora es pot observar un lleuger comportament sinusoidal de les temperatures interiors (línia vermella) inversament al flux energia. Aquest fet respon al motiu lògic que en augmentar el flux d'energia cap a l'exterior baixa la temperatura interior.

El monitoratge de casos reals permet entendre el comportament energètic dels edificis, ajustar les intervencions i evitar solucions genèriques, costoses o maximalistes.

Gener 2025



Gener 2026



> Gràfiques comparatives abans i després de la rehabilitació energètica.



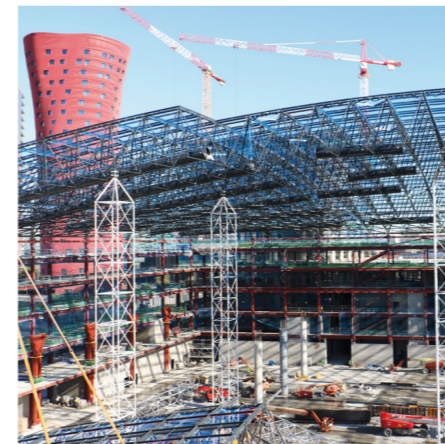
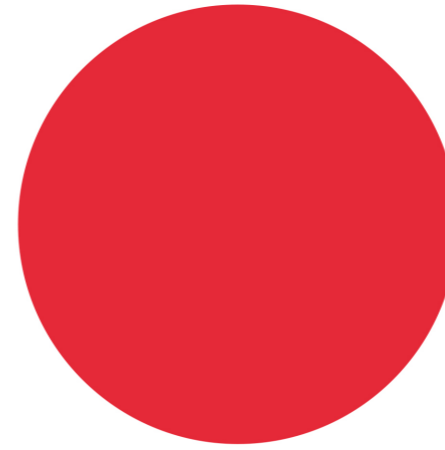
Ens trobem, doncs, amb l'evidència que la solució constructiva no és capaç de comportar-se correctament respecte d'un règim d'hivern i una producció d'energia interna que compensi el salt tèrmic important superior a 10°C.

Si analitzem la gràfica corresponent a l'any 2026 es pot observar un canvi substancial en el comportament de les dades. Aquí es pot observar com el flux d'energia té un comportament pràcticament constant, marcant una línia (blava) horitzontal, amb petites oscil·lacions i com les temperatures interiors (vermella) són pràcticament constants. Aquesta és una evidència clara de com el salt tèrmic exterior pràcticament no té reflex en les temperatures interiors i, per tant, l'evidència que la rehabilitació energètica té un funcionament acceptable.

Es fa evident, per tant, que l'obtenció de dades reals ens permet passar de les consideracions teòriques a una identificació del comportament, a temps real, i ens permet entendre la realitat del funcionament energètic del nostre edifici. Aquest coneixement ens ha de permetre entendre que, més enllà de la qualificació energètica d'un edifici, cal que vagi acompanyada d'un bon diagnòstic per encertar la reducció del consum de les nostres llars. —

El salt tèrmic exterior pràcticament no té reflex en les temperatures interiors, i, per tant, mostra una evidència que la rehabilitació energètica té un funcionament acceptable.

> Més informació aquí:



135 anys avançant amb tu



Construïm un futur sostenible