

Guia tècnica relativa al disseny lliure de ponts tèrmics en l'edificació

(Llei 21/2018, del 13 de setembre del 2018)

Versió 2_ 21/10/2021



**Llei 21/2018, del 13 de setembre
d'impuls de la transició energètica
i del canvi climàtic**

LITECC
L'energia del canvi



Govern d'Andorra

Contingut

1. INTRODUCCIÓ..... 4

2. NORMES DE REFERÈNCIA..... 4

3. TERMES, DEFINICIONS, SÍMBOLS I UNITATS 5

3.1. TERMES I DEFINICIONS 5

3.2. SÍMBOLS I UNITATS 6

3.2.1. SÍMBOLS 6

3.2.2. SUBÍNDExS..... 7

4. SUPERFÍCIE CONTÍNUA D'AÏLLAMENT TÈRMIC..... 8

5. DISSENY LLIURE DE PONTS TÈRMICS 8

6. TIPUS DE PONTS TÈRMICS..... 9

6.1. PONTS TÈRMICS PUNTUALS 9

6.2. PONTS TÈRMICS LINEALS 9

6.2.1. UNIÓ DE DOS PARETS DEL TANCAMENT EXTERIOR 9

6.2.2. INTERSECCIÓ D'UNA PARET EXTERIOR AMB UNA PARET MITJANERA 9

6.2.3. INTERRUPCIÓ DE LA SUPERFÍCIE AÏLLANT EN UN MUR DEL TANCAMENT EXTERIOR 10

6.2.4. CAIXA DE PERSIANA 10

7. INFLUÈNCIA I EFECTES DELS PONTS TÈRMICS EN ELS EDIFICIS..... 10

8. BAIXANTS AMB VENTILACIÓ EXTERIOR A LA PART ALTA..... 10

9. EXCEPCIONS 11

10. PONTS TÈRMICS NEGATIUS..... 11

11. DESCRIPCIÓ DEL MÈTODE DE CÀLCUL 11

11.1. DESCRIPCIÓ GENERAL 11

11.2. CÀLCUL D'INTERVALS DE TEMPS 11

11.3. DADES D'ENTRADA..... 11

11.3.1. CONDUCTIVITAT TÈRMICA DELS MATERIALS..... 11

11.3.2. RESISTÈNCIES SUPERFICIALS 12

11.3.3. CONDUCTIVITAT TÈRMICA DE CAPES QUASI HOMOGÈNIES 12

11.3.4. CONDUCTIVITAT TÈRMICA EQUIVALENT DE LES CAVITATS DE L'AIRE 12

11.3.5. DETERMINACIÓ DE LA TEMPERATURA EN UNA HABITACIÓ ADJACENT NO CALEFACTADA..... 13

11.4. DADES OBTINGUDES 13

11.4.1. DETERMINACIÓ DELS COEFICIENTS D'ACOBLEMENT TÈRMIC I DEL FLUX DE CALOR A PARTIR DE CÀLCULS 3D 14

11.4.2. DETERMINACIÓ DELS COEFICIENTS D'ACOBLEMENT TÈRMIC I DEL FLUX DE CALOR A PARTIR DE CÀLCULS 2D 15

11.5. CONDICIONS CLIMÀTIQUES DE CONTORN..... 16

11.5.1. TEMPERATURA EXTERIOR DE CàLCUL.....16

11.6. CONDICIONS CLIMÀTIQUES INTERIORS 16

11.6.1. TEMPERATURA D'AIRE INTERIOR.....16

11.6.2. HUMITAT AMBIENT INTERIOR.....16

12. MODELITZACIÓ CONSTRUCTIVA..... 16

13. MÈTODE DE CàLCUL..... 17

13.1. SOLUCIÓ TÈCNICA..... 17

13.2. REGLES DE CàLCUL..... 17

13.2.1. FLUXOS DE CALOR ENTRE LA MALLA D'ELEMENTS FINITS I L'ENTORN ADJACENT.....17

13.2.2. FLUXOS DE CALOR ALS PLANS DE TALL17

13.2.3. SOLUCIÓ DE LES FÓRMULES.....17

13.2.4. CàLCUL DE LA DISTRIBUCIÓ DE LA TEMPERATURA.....18

14. PROGRAMARIS DE CàLCUL..... 18

15. VALORS RECOMANATS 18

15.1. OBRA NOVA..... 18

15.2. REHABILITACIÓ 18

16. INVENTARI DE PUNTS TÈRMICS..... 19

16.1. PONTS TÈRMICS PUNTUALS 19

16.2. PONTS TÈRMICS LINEALS 19

**17. DOCUMENTS QUE CERTIFIQUIN QUE L'OBRA S'HA EXECUTAT SEGONS LES
RECOMANACIONS D'AQUESTA GUIA..... 21**

1. INTRODUCCIÓ

El pont tèrmic és el punt o la zona de l'envolupant tèrmica de l'edifici on poden aparèixer pèrdues calorífiques suplementàries que poden significar pèrdues tèrmiques excessives o problemes de condensació i d'humitat.

Es produeixen generalment en qualsevol unió entre components de l'envolupant de l'edifici o quan la composició de l'estructura d'aquesta envolupant canvia.

Presenten dos conseqüències, en comparació amb les d'una estructura lliure de ponts tèrmics:

- a) Un canvi en el flux de calor, en quantitat i en direcció
- b) Un canvi en la temperatura superficial interior

En general, un pont tèrmic provoca fluxos de calor bidimensionals o tridimensionals, que es poden determinar amb precisió mitjançant els mètodes de càlcul numèrics que es detallen en aquesta guia.

La guia no inclou els ponts tèrmics deguts als tancaments transparents, com les finestres i els murs cortina, però sí els ponts tèrmics que es deuen a la instal·lació d'aquests elements sobre les façanes.

Aquesta guia també estableix les especificacions per a models geomètrics bidimensionals i tridimensionals d'un pont tèrmic, per al càlcul numèric de:

- a) Fluxos tèrmics per avaluar la pèrdua de calor general d'un edifici o de part d'un edifici.
- b) Temperatures mínimes superficials per avaluar el risc de condensació superficial.

En moltes aplicacions, els càlculs numèrics que es basen en una representació bidimensional dels fluxos de calor donen resultats de precisió satisfactoris, sobretot quan la paret de l'edifici és uniforme en una direcció.

Aquest procés de càlcul es basa en la norma EN ISO 10211, que és l'estàndard internacional, i que parteix dels supòsits següents:

- Totes les propietats físiques són independents de la temperatura.
- No hi ha una font de calor interna a l'element estudiat.

La guia defineix la determinació dels coeficients de transmissió tèrmica lineals o puntuals, així com els factors de temperatura superficial.

2. NORMES DE REFERÈNCIA

El text d'aquesta normativa fa referència a les publicacions següents i en particular a la darrera edició:

EN ISO 10211	Ponts tèrmics en la construcció. Fluxos de calor i temperatures superficials. Càlculs detallats
EN ISO 6946	Components de construcció i elements de construcció - Resistència tèrmica i transmissió tèrmica - Mètode de càlcul
EN ISO 7345	Aïllament tèrmic: quantitats i definicions físiques
EN ISO 13370	Rendiment tèrmic dels edificis - Transferència de calor a través del terreny - Mètodes de càlcul

EN ISO 13788	Rendiment higròtermic dels components i elements de la construcció - Temperatura superficial interna per evitar la humitat crítica de la superfície i condensació intersticial - Mètodes de càlcul
EN ISO 10456	Materials de construcció i productes - Propietats higròtermiques - Valors i procediments de disseny tabulats per a la determinació de valors tèrmics declarats i de disseny
EN ISO 13789	Rendiment tèrmic dels edificis - Coeficients de transmissió de calor i ventilació - Mètode de càlcul
EN ISO 52000-1:2017	Rendiment energètic

3. TERMES, DEFINICIONS, SÍMBOLS I UNITATS

Les definicions aplicables en aquesta referència tècnica provenen del Reglament energètic en l'edificació vigent, sense perjudici dels termes, les definicions, els símbols i les unitats que es defineixen en l'àmbit concret d'aquesta guia.

3.1. TERMES I DEFINICIONS

Els termes i les definicions que intervenen en aquesta normativa es defineixen a continuació:

Pont tèrmic	Part de l'envolupant de l'edifici on la resistència tèrmica canvia per la penetració total o parcial de materials amb una conductivitat tèrmica diferent, per un canvi d'espessor de l'estructura, o per una diferència entre les superfícies interior i exterior, com pot passar en juntes de paret, terreny o sostre.
Pont tèrmic lineal	Pont tèrmic amb secció uniforme al llarg d'un dels tres eixos ortogonals.
Pont tèrmic puntual	Pont tèrmic localitzat, la influència del qual pot ser representada per una transmitància tèrmica puntual.
Model geomètric tridimensional	Model geomètric que es dedueix dels plànols de construcció, de manera que, per a cadascun dels eixos ortogonals, la secció transversal perpendicular a aquest eix canvia dins del límit del model.
Element lateral tridimensional	Part d'un model geomètric 3D que, quan es considera aïllat, es pot representar per un model geomètric 2D.
Element central tridimensional	Part d'un model geomètric 3D que no és un element lateral tridimensional.
Model geomètric bidimensional	Model geomètric que es dedueix dels plans de construcció, de manera que, per a un dels eixos ortogonals, la secció transversal perpendicular a aquest eix no canvia dins dels límits del model.
Pla de construcció	Pla del model geomètric 3D o del model geomètric 2D que separa diferents materials o el model geomètric de la resta de la construcció o els elements laterals de l'element central.
Pla de tall	Pla de construcció, que és un límit del model geomètric 3D o del model geomètric 2D, que separa el model de la resta de la construcció.

Pla auxiliar	Pla que, a més dels plànols de construcció, divideix el model geomètric en un nombre de cèl·lules determinat.
Capa quasi homogènia	Capa que consta de dos o més materials amb conductivitats tèrmiques diferents, però que es pot considerar homogènia amb una conductivitat tèrmica equivalent.
Factor de temperatura de superfície (f_{Rsi})	Diferència entre la temperatura superficial interna i la temperatura de l'aire exterior, que es divideix per la diferència entre la temperatura de l'aire interior i la temperatura de l'aire exterior, i es calcula amb una resistència superficial interior (R_{si}).
Factor de ponderació de temperatura	Factor de ponderació que indica la influència respectiva de les temperatures de l'aire dels ambients tèrmics sobre la temperatura superficial al punt en consideració.
Temperatura límit exterior	Temperatura de l'aire exterior, suposant que la temperatura de l'aire és igual a la temperatura radiant, vista per la superfície.
Temperatura límit interior	Temperatura operativa que es considera com el valor mitjà aritmètic de la temperatura de l'aire interior i de la temperatura mitjana radiant de totes les superfícies que envolten l'ambient interior.
Coefficient d'acoblament tèrmic	Flux de calor per la diferència de temperatura entre dos ambients connectats tèrmicament per la construcció en qüestió.
Coefficient lineal de transmitància tèrmica	Flux de calor en estat estacionari, en comparació amb un cabal de calor de referència, que es calcula sense tenir en compte el pont tèrmic, i es divideix per la longitud i per la diferència de temperatura entre els ambients que hi ha a banda i banda d'un pont tèrmic lineal.

3.2. SÍMBOLS I UNITATS

3.2.1. SÍMBOLS

Als efectes d'aquest document, s'apliquen els símbols indicats a la norma ISO 52000-1 següents:

A [m²]	Àrea
B [m]	Dimensió característica del terreny
b [m]	Amplada
d [m]	Gruix
F_{Rsi}	Factor de temperatura a la superfície interior
g	Factor de ponderació de temperatura
L [W/(m.K)]	Coefficient d'acoblament tèrmic
L_{2D} [W/(m.K)]	Coefficient d'acoblament tèrmic a partir del càlcul bidimensional
L_{3D} [W/K]	Coefficient d'acoblament tèrmic a partir del càlcul tridimensional
l [m]	Longitud
N	Nombre

q [W/m ²]	Densitat del flux de calor
R [m ² K/W]	Resistència tèrmica
T [K]	Temperatura termodinàmica
V [m ³]	Volum
w [m]	Gruix de paret
z [m]	Profunditat de la superfície del terreny per sota del nivell del terra
Φ [W]	Flux de calor
λ [W/(mK)]	Conductivitat tèrmica
θ [°C]	Temperatura en graus Celsius
$\Delta\theta$ [K]	Diferència de temperatura
χ [W/K]	Coeficient puntual de transmitància tèrmica
Ψ [W/(mK)]	Coeficient lineal de transmitància tèrmica

3.2.2. SUBÍNDEXS

Als efectes d'aquest document, s'apliquen els subíndexs indicats a la norma ISO 52000-1 següents:

b	Soterrani, per sota del nivell del terra
c	Component
e	Exterior
f	Pis
g	Capa d'aire, buit d'aire
g	Terra
ie	D'interior a exterior
iu	D'interior a no calefactat
int	Interior
min	Mínim
pe	Coeficient de transferència de calor periòdica externa
se	Superfície exterior
si	Superfície interior
t	Inclòs el pont tèrmic (total)

tb	Pont tèrmic
ue	De no calefactat a exterior
w	Paret
0	Sense pont tèrmic

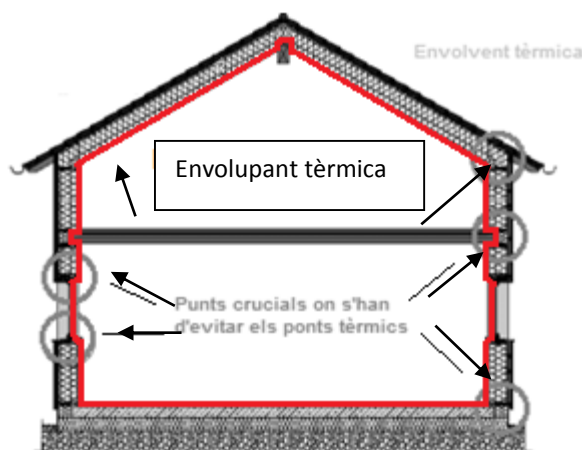
4. SUPERFÍCIE CONTÍNUA D'AÏLLAMENT TÈRMIC

L'aïllament tèrmic ha de configurar una superfície contínua que delimiti la totalitat de l'envolupant tèrmica i la separi, tant de l'ambient exterior de l'edifici com de qualsevol espai adjacent que no tingui tractament tèrmic de calefacció o refrigeració.

L'aïllament s'ha de col·locar de forma que es pugui dibuixar una línia contínua d'aïllament que envolti tot el perímetre de l'envolupant, tant en els plànols de planta com en totes les possibles seccions de l'edifici. Les finestres, les portes i els murs cortina formen part d'aquesta línia aïllant.

En els punts on no es pot aconseguir aquesta continuïtat –en els llocs on el gruix de l'aïllament canviï o en els punts constructius heterogenis– es produeix un pont tèrmic que es recomana que es tracti segons el que estableix aquesta guia.

Les finestres i portes de l'envolupant tèrmica han d'estar alineades amb l'aïllament tèrmic si es vol obtenir un valor de pont tèrmic baix.



Imatge 1. Envolupant tèrmica

5. DISSENY LLIURE DE PONTS TÈRMICS

Un disseny es considera lliure de ponts tèrmics quan les contribucions proporcionades pels ponts tèrmics lineals i puntuals són inferiors o iguals a zero.

$$\sum \psi \cdot l + \sum \chi \leq 0$$

O quan el coeficient lineal de transmissió tèrmica és inferior a 0,01 W/(m·K):

$$\psi \leq 0,01 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$$

El disseny dels edificis ha de tendir a aquest valor, però en els casos en què no s'hi arribi, cal verificar si es compleix el paràmetre d'higiene f_{Rsi} que es defineix en aquesta guia, per tal de prevenir problemes d'humitat i de desenvolupament de fongs i calcular el valor del pont tèrmic als efectes necessaris de càlculs de potència i consum d'energia tèrmica.

6. TIPUS DE PONTS TÈRMICS

6.1. PONTS TÈRMICS PUNTUALS

Parlem de ponts tèrmics puntuals quan la capa aïllant d'una paret és interrompuda puntualment.

El coeficient de pont tèrmic puntual és χ [W/K].

El pont tèrmic puntual inclou, entre altres elements, els següents:

- Columnes, que travessen l'aïllament del sostre o del terra, que separen un espai calefactat d'un no calefactat.
- Bigues que interrompen la capa aïllant.
- Punts de fixació de col·lectors solars, de façanes ventilades i d'altres estructures quan travessen l'aïllament de l'envolupant tèrmica.
- Ancoratges puntuals que travessen la capa aïllant.

6.2. PONTS TÈRMICS LINEALS

Es parla de ponts tèrmics lineals quan la resistència tèrmica varia segons un detall constructiu i es manté en una longitud determinada.

El coeficient de pont tèrmic lineal és Ψ [W/(m·K)].

Un pont tèrmic lineal pot aparèixer en els casos següents:

- Unió de dos parets del tancament exterior.
- Intersecció d'una paret exterior amb una paret mitjanera.
- Interrupció de l'aïllament del tancament exterior.

6.2.1. UNIÓ DE DOS PARETS DEL TANCAMENT EXTERIOR

Hi ha un pont tèrmic lineal:

- On s'uneixen dos parets del tancament exterior.
- A la unió de la paret del tancament exterior i la d'un espai no calefactat.
- Al recolzament dels fonaments.
- Al perímetre de portes exteriors i de portes que comuniquen espais interiors a l'envolupant tèrmica amb espais exteriors a aquesta.
- Al perímetre de finestres i murs cortina.
- On s'uneixen dos façanes o parts de façana amb orientacions diferents.

Aquest tipus de pont tèrmic lineal es pot identificar en una secció o planta de l'edifici en fase d'estudi. Cal tenir en compte que aquest tipus de pont tèrmic hi és, independentment de la continuïtat o no de l'aïllament tèrmic entre les dos parets esmentades.

6.2.2. INTERSECCIÓ D'UNA PARET EXTERIOR AMB UNA PARET MITJANERA

Sempre hi ha un pont tèrmic lineal on s'uneix un mur del tancament exterior amb una paret mitjanera, encara que la paret mitjanera no formi part del tancament exterior de l'edifici.

Tant si la paret mitjanera està en contacte amb un altre edifici com si dona directament a l'exterior, la intersecció entre les dos parets sempre s'ha de tractar com un pont tèrmic lineal.

6.2.3. INTERRUPCIÓ DE LA SUPERFÍCIE AÏLLANT EN UN MUR DEL TANCAMENT EXTERIOR

Hi ha un pont tèrmic lineal quan la capa aïllant d'una paret del tancament exterior és interrompuda totalment o parcialment de forma lineal (paral·lela a la façana) per un material amb una conductivitat tèrmica més alta.

S'inclouen en aquests casos els trencaments de la capa aïllant per posar:

- Un balcó o una marquesina
- Un pas de canonada d'aigua
- Un pas de canonada de desguàs d'aigües pluvials o de clavegueram
- Un perfil d'acer situat al pla de la paret del tancament

6.2.4. CAIXA DE PERSIANA

Les caixes de persiana produeixen un debilitament de l'aïllament de l'envolupant i, per tant, formen un pont tèrmic.

7. INFLUÈNCIA I EFECTES DELS PONTS TÈRMICS EN ELS EDIFICIS

Els ponts tèrmics suposen una transmissió de calor que cal addicionar a les necessitats energètiques de l'envolupant de l'edifici.

La calor fa el seu camí a través dels tancaments, des de l'espai calent cap al fred, seguint el recorregut amb menor resistència tèrmica.

Aquest efecte influeix sobre:

- Les necessitats d'energia i de potència de calefacció i refrigeració.
- El sobreescalfament interior.
- Les temperatures superficials interiors, que generalment disminueixen i que poden produir condensacions superficials i, en el pitjor dels casos, deixar que penetri la humitat en els elements de construcció. Aquesta humitat facilita el creixement de fongs i els problemes sanitaris associats, així com la corrosió i altres patologies constructives.

Aquestes conseqüències es poden evitar dissenyant l'envolupant de l'edifici lliure de ponts tèrmics. D'aquesta forma, les temperatures superficials interiors són suficientment altes com per evitar els nivells crítics d'humitat i la sensació de desconfort.

El disseny lliure de ponts tèrmics augmenta la durabilitat de la construcció i aconsegueix un estalvi d'energia d'escalfament i de refredament.

8. BAIXANTS AMB VENTILACIÓ EXTERIOR A LA PART ALTA

Normalment els baixants d'aigües grises o negres tenen una ventilació exterior a la part alta. El vent fa un efecte de succió que fa que l'aire circuli per dins del tub que es troba a l'interior de l'envolupant tèrmica de l'edifici, creant un pont tèrmic.

Un efecte similar passa amb els baixants d'aigües pluvials quan passen per l'interior de l'envolupant tèrmica.

Per reduir els efectes d'aquest pont tèrmic cal obligatòriament:

- Minimitzar el nombre de passos de ventilació a través de l'aïllament dels tancaments exteriors.

- Aïllar la totalitat dels baixants afectats i situats a l'interior de l'envolupant tèrmica, amb un mínim de 50 mm d'aïllament, amb barrera de vapor exterior per evitar que hi hagi condensacions.

9. EXCEPCIONS

Hi ha situacions que provoquen pèrdues tèrmiques però que no es consideren ponts tèrmics pel fet que la seva influència és limitada. Els dos casos més comuns d'aquestes excepcions són:

- La intersecció de dos o més ponts tèrmics lineals, que no es considera pont tèrmic puntual, ja que s'han tingut en compte les pèrdues energètiques en els dos ponts tèrmics lineals i la pèrdua suplementària és negligible.
- Una superfície aïllant contínua però heterogènia. Quan la superfície aïllant del tancament exterior és interrompuda localment per un material aïllant diferent, però la capa que aïlla resta contínua, sense interrupcions, sense aprimament ni eixamplament i sense canvis de direcció, la pèrdua tèrmica addicional és insignificant, raó per la qual no s'ha de considerar pont tèrmic lineal.

10. PONTS TÈRMICS NEGATIUS

En alguns casos el càlcul d'un pont tèrmic pot donar un valor negatiu. Això es coneix com un pont tèrmic geomètric i és el valor que cal deduir a les pèrdues tèrmiques de l'edifici. Això passa quan els criteris de càlcul de les pèrdues tèrmiques de les superfícies dels tancaments exteriors fan que se superposin les superfícies i se sumen dos vegades les pèrdues en la seva intersecció. En aquests casos cal deduir el valor duplicat sumant el pont tèrmic negatiu.

11. DESCRIPCIÓ DEL MÈTODE DE CàLCUL

11.1. DESCRIPCIÓ GENERAL

Si es coneixen les condicions del contorn i els detalls constructius, es pot calcular la temperatura interior de contacte de l'element constructiu i el flux de calor a través d'aquest. Amb aquest objectiu, el model geomètric està dividit en una malla d'elements finits de materials adjacents, i cadascun té una conductivitat tèrmica homogènia. El mètode de càlcul és el que defineix la darrera versió de la norma ISO EN 10211. La distribució de la temperatura es determina mitjançant un càlcul iteratiu o mitjançant una tècnica de solució directa, després de la qual es determina per interpolació la distribució de la temperatura dins de les cèl·lules del material.

11.2. CàLCUL D'INTERVALS DE TEMPS

En la majoria dels casos, els càlculs descrits en aquest document són estacionaris i no tenen intervals de temps.

Quan es facin càlculs per obtenir coeficients de transferència periòdica de calor, l'interval de temps ha de ser inferior a una hora.

11.3. DADES D'ENTRADA

11.3.1. CONDUCTIVITAT TÈRMICA DELS MATERIALS

Els valors de la conductivitat tèrmica de disseny es calculen d'acord amb la norma ISO 10456, si es basen en dades mesurades i proporcionades pel fabricant.

La conductivitat tèrmica del terreny ha de ser de $2,0 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

11.3.2. RESISTÈNCIES SUPERFICIALS

Per al càlcul dels fluxos de calor, les resistències superficials han d'anar d'acord amb la norma ISO 6946, segons la direcció del flux de calor. No obstant això, el valor de R_{si} corresponent al flux de calor horitzontal es pot utilitzar per a totes les superfícies quan:

- a) La direcció del flux de calor sigui incerta o pugui variar.
- b) S'estigui modelant un edifici sencer en un sol càlcul.

Per al càlcul de les temperatures internes de la superfície, amb l'objectiu d'avaluar el risc de condensació, les resistències superficials han d'anar d'acord amb la referència tècnica corresponent en l'àmbit de les condensacions.

11.3.3. CONDUCTIVITAT TÈRMICA DE CAPES QUASI HOMOGÈNIES

La conductivitat tèrmica de les capes quasi homogènies s'ha de calcular d'acord amb les fórmules següents:

$$\lambda' = \frac{d}{\frac{A}{L_{3D}} - R_{si} - R_{se} - \sum \frac{d_j}{\lambda_j}} \qquad \lambda' = \frac{d}{\frac{l_{tb}}{L_{2D}} - R_{si} - R_{se} - \sum \frac{d_j}{\lambda_j}}$$

On:

- d és el gruix de la capa termal no homogènia
- A és l'àrea de l'edifici corresponent
- l_{tb} és la longitud d'un pont tèrmic lineal
- L_{3d} és el coeficient d'acoblament tèrmic determinat per un càlcul 3D
- L_{2d} és el coeficient d'acoblament tèrmic determinat per un càlcul 2D
- d_j és el gruix de cada capa homogènia que forma part d'un element de l'edifici
- λ_j és la conductivitat tèrmica de la capa homogènia j

11.3.4. CONDUCTIVITAT TÈRMICA EQUIVALENT DE LES CAVITATS DE L'AIRE

Es considera una cavitat d'aire com un material conductor homogeni amb conductivitat tèrmica (λ_g). Si es coneix la resistència tèrmica d'una capa o cavitat d'aire, la seva conductivitat tèrmica equivalent (λ_g) s'obté de la fórmula següent:

$$\lambda_g = \frac{d_g}{R_g}$$

On:

- d_g és el gruix de la capa d'aire
- R_g és la resistència tèrmica en la direcció principal del flux de calor

Les resistències tèrmiques de les capes d'aire i les cavitats delimitades per materials opacs s'obtenen segons el procediment indicat a la norma ISO 6946.

Per a la resistència tèrmica de les capes d'aire en vidres múltiples, vegeu la norma EN 673. La informació sobre el tractament de les cavitats en els marcs de les finestres es troba a la norma ISO 10077-2.

Les cavitats d'aire de més de 0,5 m al llarg de cadascun dels eixos ortogonals s'han de tractar com a habitacions (vegeu l'apartat 11.3.5).

11.3.5. DETERMINACIÓ DE LA TEMPERATURA EN UNA HABITACIÓ ADJACENT NO CALEFACTADA

Si hi ha informació suficient, s'ha de calcular la temperatura d'una habitació adjacent no calefactada segons la norma ISO 13789.

Si es desconeix la temperatura de l'habitació adjacent no calefactada i no es pot calcular d'acord amb la norma ISO 13789 perquè la informació necessària no està disponible, no es poden calcular els fluxos de calor ni la temperatura interna de la superfície. Tot i això, es poden calcular i presentar tots els coeficients d'acoblament i els factors de ponderació de temperatura d'acord amb la norma EN ISO 10211.

Les taules següents mostren la llista de dades d'entrada necessàries per fer el càlcul:

Nom	Símbol	Unitat	Valor	Interval
Àrea	A	m ²	-	>0
Amplada del l'element constructiu	B	m	-	>0
Gruix de l'element constructiu	D	m	-	>0
Llargada	L	m	-	>0
Volum	V	m ³	-	>0
Dimensió característica del terreny	B	m	-	>0

Taula 1. Característiques geomètriques

Nom	Símbol	Unitat	Valor	Interval
Conductivitat tèrmica	λ	W/(mK)	-	0 a 200
Resistència tèrmica	R	m ² K/W	-	>0
Resistència superficial exterior	R _{se}	m ² K/W	0,04	-
Resistència superficial interior	R _{si}	m ² K/W	-	0,1 a 0,2
Transmitància tèrmica	U	W/(m ² K)	-	>0
Temperatura	θ	°C	-	-50 a +50

Taula 2. Característiques tèrmiques de l'element constructiu

11.4. DADES OBTINGUDES

Les sortides d'aquest document són el coeficient lineal de transmitància tèrmica, el coeficient puntual de transmitància tèrmica i les temperatures superficials interiors.

Les dades que s'obtenen es detallen a continuació:

Descripció	Símbol	Unitat	Interval de validesa
Coeficient lineal de transmitància tèrmica	ψ	W/(m·K)	-
Coeficient d'acoblament tèrmic a partir del càlcul bidimensional	L _{2D}	W/(m·K)	>0
Coeficient d'acoblament tèrmic a partir del càlcul tridimensional	L _{3D}	W/K	>0
Factor de temperatura en la superfície interior	f _{Rsi}	-	>0
Coeficient puntual de transmitància tèrmica	X	W/K	>0

Taula 3. Dades de sortida obtingudes

Les fórmules utilitzades per determinar aquests valors són les següents:

11.4.1. DETERMINACIÓ DELS COEFICIENTS D'ACOBLEMENT TÈRMIC I DEL FLUX DE CALOR A PARTIR DE CÀLCULS 3D

11.4.1.1. Dos temperatures límit, model no dividit

Si només hi ha dos ambients amb dos temperatures diferents (per exemple, una temperatura interior i una d'exterior), i si la temperatura de l'habitació o l'edifici total es calcula de manera tridimensional a partir d'un model únic, s'obté el coeficient d'acoblement tèrmic total ($L_{3D,1,2}$) a partir del flux de calor (Φ) de l'habitació o l'edifici, tal com es dona a la fórmula següent:

$$\Phi = L_{3D,1,2} \cdot (\theta_1 - \theta_2)$$

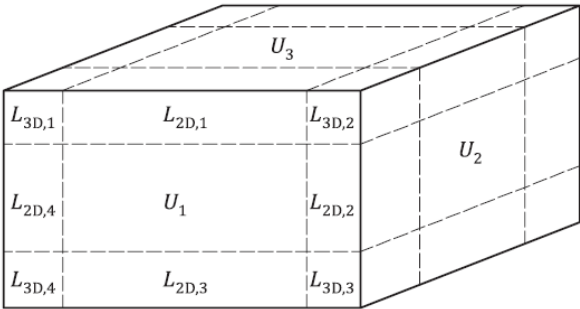
11.4.1.2. Dos temperatures límit, model dividit

Si l'habitació o l'edifici està dividit (vegeu la figura 1), el valor total de $L_{3D,i,j}$ es calcula a partir de la fórmula següent:

$$L_{3D,i,j} = \sum_{k=1}^{N_k} U_{k(i,j)} \cdot A_k + \sum_{m=1}^{N_m} L_{2D,m(i,j)} \cdot l_m + \sum_{n=1}^{N_n} L_{3D,n(i,j)}$$

On:

- $L_{3Dn(i,j)}$ és el coeficient d'acoblement tèrmic obtingut a partir d'un càlcul en 3D per a la part n de l'habitació o edifici
- $L_{2Dm(i,j)}$ és el coeficient d'acoblement tèrmic obtingut a partir d'un càlcul en 2D per a la part m de l'habitació o edifici
- l_m és la longitud sobre la qual s'aplica el valor $L_{2Dm(i,j)}$
- $U_{k(i,j)}$ és la transmitància tèrmica obtinguda a partir d'un càlcul en 1D per a la part k de l'habitació o edifici
- A_k és la zona sobre la qual s'aplica el valor U_k
- N_n és el nombre total de parts en 3D
- N_m és el nombre total de parts en 2D
- N_k és el nombre total de parts en 1D



imatge 2. Envolupant de l'edifici dividit en 3D, 2D i 1D models geomètrics

11.4.1.3. Més de dos temperatures límit

El flux de calor ($\Phi_{i,j}$) de l'ambient i d'un entorn connectat tèrmicament j es dona per la fórmula següent:

$$\Phi_{i,j} = L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)$$

El flux de calor cap o des d'una habitació a temperatura θ_i es pot calcular a partir de la fórmula següent:

$$\Phi = \sum_j [L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)]$$

On:

$L_{3D(i,j)}$	són els coeficients d'acoblament entre l'habitació i les habitacions adjacents o l'ambient exterior
θ_j	són les temperatures de les habitacions adjacents o l'ambient extern

El flux de calor total cap a un edifici o des d'un edifici es pot calcular a partir de la fórmula següent:

$$\Phi = \sum_i \sum_j [L_{3D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)]$$

On:

$L_{3D(i,j)}$	són els coeficients d'acoblament corresponents
θ_i	són les temperatures de les habitacions interiors
θ_j	és la temperatura de l'ambient exterior

11.4.2. DETERMINACIÓ DELS COEFICIENTS D'ACOBLAMENT TÈRMIC I DEL FLUX DE CALOR A PARTIR DE CÀLCULS 2D

11.4.2.1. Dos temperatures límit

El cabal de calor per metre de longitud (Φ) del pont tèrmic lineal des de l'interior, designat pel subíndex "int", i designat pel subíndex "e" a l'exterior, ve donat per la fórmula següent:

$$\Phi = L_{2D} \cdot (\theta_{int} - \theta_e)$$

On L_{2D} és el coeficient d'acoblament tèrmic obtingut a partir d'un càlcul en dos punts de l'element que separa els dos ambients considerats.

11.4.2.2. Més de dos temperatures límit

El flux de calor ($\Phi_{i,j}$) de l'ambient i d'un entorn connectat tèrmicament j es dona per la fórmula següent:

$$\Phi_{i,j} = L_{2D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)$$

Per a més de dos ambients amb temperatures diferents (per exemple, temperatures interiors diferents o temperatures exteriors diferents), el cabal de calor total (Φ) de la sala o de l'edifici es pot calcular a partir de la fórmula següent:

$$\Phi = \sum_{i < j} [L_{2D,i,j} \cdot (\theta_i - \theta_j)]$$

On $L_{2D,i,j}$ són els coeficients d'acoblament entre cada parell d'ambients.

11.4.2.3. Determinació de la transmitància tèrmica lineal

La transmitància tèrmica lineal considerada del pont tèrmic lineal que separa els dos ambients es representa pel símbol Ψ i s'obté a partir de la fórmula següent:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{j=1}^{N_j} U_j \cdot l_j$$

On:

U_j és la transmitància tèrmica de l'element en 1D j que separa els dos ambients considerats

l_j és la longitud dins del model geomètric en 2D sobre el qual s'aplica el valor U_j

N_j és el nombre d'elements en 1D

A l'hora de determinar la transmitància tèrmica lineal, cal indicar quines dimensions (per exemple, interiors o exteriors) s'utilitzen, ja que per a diversos tipus de ponts tèrmics el valor de la transmitància tèrmica lineal depèn d'aquesta opció.

11.5. CONDICIONS CLIMÀTIQUES DE CONTORN

11.5.1. TEMPERATURA EXTERIOR DE CàLCUL

Per als càlculs de condensació intersticial, s'ha d'agafar la temperatura de -10°C per a qualsevol indret del país.

11.5.1.1. Aire exterior

Per definir les condicions d'humitat de l'aire exterior i en absència d'una normativa que les reguli expressament, es fa servir la pressió de vapor (p_e).

Els valors mitjans mensuals de la pressió de vapor es poden calcular a partir de la temperatura i la humitat relativa mitjana mitjançant l'equació següent:

$$\overline{p_e} = \overline{\varphi_e} p_{sat}(\overline{\theta_e})$$

Per als càlculs del risc de condensació superficial en materials de baixa inèrcia tèrmica, com per exemple, les finestres i la fusteria, s'ha d'agafar la humitat relativa exterior corresponent a les temperatures definides en l'apartat 6.2.2.

11.5.1.2. Condicions d'humitat del terreny

Es considera saturació ($\varphi=1$).

11.6. CONDICIONS CLIMÀTIQUES INTERIORS

11.6.1. TEMPERATURA D'AIRE INTERIOR

Excepte en piscines cobertes o ambients amb temperatures especialment elevades o especialment baixes per raons d'ús de l'espai, s'ha d'agafar una temperatura interior de 20°C per calcular el pont tèrmic.

En cas d'espais especials amb temperatures molt diferents, s'ha d'agafar la temperatura real.

11.6.2. HUMITAT AMBIENT INTERIOR

Excepte en piscines cobertes i ambients amb humitat especialment elevada o especialment baixa per raons d'ús de l'espai, s'ha d'agafar una humitat interior de 50%HR per calcular el pont tèrmic.

En el cas d'espais on per raons d'ús es necessita una humitat especial diferent d'aquesta, s'ha d'agafar la humitat real.

12. MODELITZACIÓ CONSTRUCTIVA

La modelització constructiva s'ha de fer seguint la darrera versió de la norma EN ISO 10211.

13. MÈTODE DE CàLCUL

13.1. SOLUCIÓ TÈCNICA

El model geomètric està dividit en una malla d'elements finits, cadascuna amb un punt característic (anomenat node). Aplicant les lleis de conservació d'energia ($\text{div } q = 0$) i Fourier ($q = -\lambda \text{ grad } \theta$) i tenint en compte les condicions límit, s'obté un sistema d'equacions que és la funció de les temperatures dels nodes. La solució d'aquest sistema, ja sigui mitjançant una tècnica de solució directa o per un mètode iteratiu, proporciona les temperatures als nodes a partir de les quals es pot determinar el camp de temperatura. A partir de la distribució de temperatura, es poden calcular els fluxos de calor aplicant la llei de Fourier.

Els mètodes de càlcul s'han de verificar d'acord amb els requisits de la darrera versió de la norma EN ISO 10211.

13.2. REGLES DE CàLCUL

13.2.1. FLUXOS DE CALOR ENTRE LA MALLA D'ELEMENTS FINITS I L'ENTORN ADJACENT

La densitat del cabal de calor (q) perpendicular a la interfase entre un element de la malla i l'entorn adjacent es representa mitjançant la fórmula següent:

$$q = \frac{\theta - \theta_s}{R_s}$$

On:

θ és la temperatura de referència interior o exterior

θ_s és la temperatura a la superfície interior o exterior

R_s és la resistència superficial interior o exterior

13.2.2. FLUXOS DE CALOR ALS PLANS DE TALL

Els plànols de tall són adiabàtics (és a dir, el flux de calor és igual a zero).

13.2.3. SOLUCIÓ DE LES FÓRMULES

Les fórmules s'han de resoldre d'acord amb els requisits indicats en el paràgraf següent.

Els mètodes de càlcul d'alta precisió es coneixen com a mètodes numèrics (per exemple, mètode d'elements finits, mètode de diferència finita, mètode d'equilibri de calor). Aquests mètodes numèrics requereixen una subdivisió de l'objecte considerat. El mètode és un conjunt de regles per formar un sistema d'equacions, el nombre de les quals és proporcional al nombre de subdivisions. El sistema es resol mitjançant un mètode de solució directa o un mètode iteratiu. La solució del sistema són normalment les temperatures en punts específics, a partir dels quals es poden derivar les temperatures en qualsevol punt de l'objecte considerat (per interpolació); també es poden derivar els fluxos de calor per superfícies específiques.

El mètode numèric que es valida ha de contemplar els requisits enumerats a continuació.

- El mètode ha de proporcionar fluxos de temperatura i calor.
- L'abast de la subdivisió de l'objecte (és a dir, el nombre d'elements o nodes) no és un mètode "definit", sinó un mètode "definit per l'usuari", tot i que a la pràctica el grau de subdivisió és "limitat a màquina". Per tant, en els casos de referència de la prova, el mètode que s'ha validat ha de ser capaç de calcular les temperatures i els fluxos de calor en altres llocs que no figuren.
- Per a un nombre creixent de subdivisions, la solució del mètode a validar ha de convergir a la solució analítica, si existeix aquesta solució.
- El nombre de subdivisions es determina de la manera següent: la suma dels valors absoluts de tots els fluxos de calor que entren a l'objecte es calcula dos vegades, per a nodes (o cèl·lules) i per a $2n$ nodes (o cèl·lules). La diferència entre aquests dos resultats

no ha de ser superior a l'1%. En cas contrari, s'han de fer altres subdivisions fins que es compleixi aquest criteri.

- e) Si la tècnica de solució del sistema és iterativa, la iteració ha de continuar fins que la suma de tots els fluxos de calor (positius i negatius) que entren a l'objecte, dividida per la meitat de la suma dels valors absoluts de tots aquests fluxos de calor, sigui inferior a 0,0001.

13.2.4. CÀLCUL DE LA DISTRIBUCIÓ DE LA TEMPERATURA

La distribució de la temperatura dins de cada element de la malla es calcula mitjançant la interpolació entre les temperatures del node.

La interpolació lineal és suficient.

14. PROGRAMARIS DE CÀLCUL

Els càlculs dels coeficients dels ponts tèrmics i de la temperatura superficial interior s'han de fer amb un programari que segueixi la norma EN ISO 10211.

15. VALORS RECOMANATS

S'han de calcular els valors de la conductivitat de cada pont tèrmic per tenir-los en compte en el disseny energètic de l'edifici.

Es recomana que els ponts tèrmics compleixin el factor de temperatura superficial f_{Rsi} per evitar la condensació i el desenvolupament de fongs, tant superficials com a l'interior dels elements constructius.

Les pèrdues degudes a aquests ponts tèrmics cal que es tinguin en compte en el còmput global de les pèrdues tèrmiques de l'edifici.

15.1. OBRA NOVA

El factor de temperatura f_{Rsi} és la diferència entre la temperatura superficial interna i la temperatura de l'aire exterior, dividida per la diferència entre la temperatura de l'aire interior i la temperatura de l'aire exterior, calculada per una resistència superficial interior $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$.

La resistència tèrmica superficial interior R_{si} agafa aquest valor per representar la disminució de la convecció interior per l'efecte de cantonades, mobles, cortines o falsos sostres.

Aquest factor de temperatura mínima es calcula segons la fórmula següent:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

On:

θ_{si} és la temperatura superficial interior

θ_i és la temperatura ambient interior

θ_e és la temperatura ambient exterior

I es recomana que compleixi:

En cotes iguals o inferiors a 1900 m,

$f_{Rsi} \leq 0.7$ amb $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

En cotes superiors a 1900 m,

$f_{Rsi} \leq 0.75$ amb $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$

15.2. REHABILITACIÓ

Donat que la reducció dels ponts tèrmics en la rehabilitació d'un edifici és sempre més difícil que en una obra nova, de vegades només es poden resoldre parcialment.

Cal identificar i avaluar els paràmetres Ψ [W/(m·K)], χ [W/K] i f_{Rsi} , i reduir el valor del pont tèrmic quan no es pugui eliminar.

Una forma de millorar el valor dels ponts tèrmics que hi hagi en els edificis a reformar és allargar la distància que hagi de recórrer la calor a través de l'element constructiu (paret, pilar, etc.) afegint aïllament en aquest element constructiu. Aquest mètode es pot aplicar, tant per a parets exteriors com per als murs perimetrals de la planta soterrani, o per als pilars i les bigues que trenquen la continuïtat de l'aïllament tèrmic de l'envolupant.

16. INVENTARI DE PUNTS TÈRMICS

16.1. PONTS TÈRMICS PUNTUALS

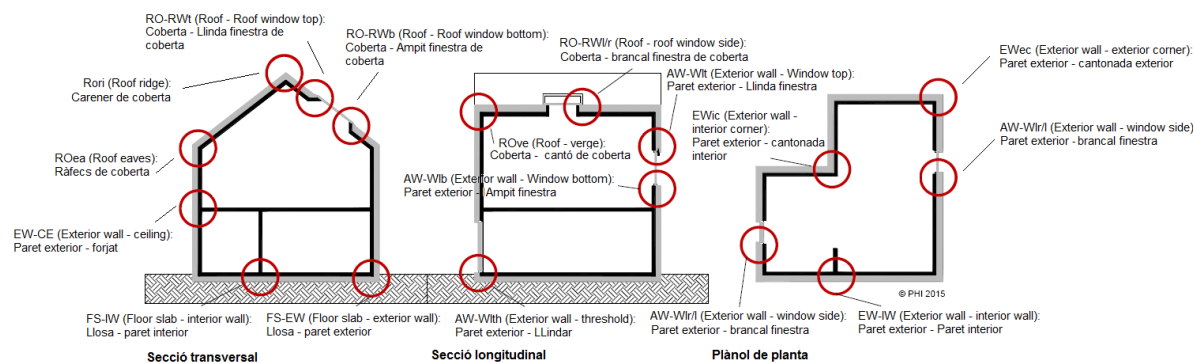
Es recomana fer l'inventari dels ponts tèrmics puntuals (χ) enumerant-los, i indicant de cadascun d'ells la informació següent:

- El plànol de detall del pont tèrmic on s'indiquin tots els materials constructius, les cotes necessàries per a la comprensió i les temperatures exteriors, interiors i superficials interiors. Han d'incloure també la posició de la barrera de vapor i de la línia d'hermeticitat de l'edifici amb els detalls de la seva continuïtat.
- El nombre de ponts tèrmics d'aquesta tipologia que hi hagi a l'obra.
- El valor del pont tèrmic puntual χ [W/K].
- El valor del factor de temperatura de la superfície interior f_{Rsi} .

16.2. PONTS TÈRMICS LINEALS

Es recomana fer un inventari dels ponts tèrmics lineals (Ψ) seguint els esquemes següents, enumerant-los, i indicant la informació següent de cadascun d'ells:

- El plànol de planta i seccions de l'edifici amb indicació de la línia contínua de l'aïllament tèrmic de l'envolupant, indicant l'inventari dels ponts tèrmics i enumerant tots els materials constructius, les cotes necessàries per a la comprensió i les temperatures exteriors, interiors i superficials interiors. Han d'incloure també la posició de la barrera de vapor i de la línia d'hermeticitat de l'edifici amb els detalls de la seva continuïtat.
- Els plànols constructius de detall de les solucions adoptades a cada pont tèrmic, la descripció dels materials, les cotes necessàries per a la comprensió i les temperatures exteriors, interiors i superficials interiors. Han d'incloure també la posició de la barrera de vapor i de la línia d'hermeticitat de l'edifici, així com el nombre de ponts tèrmics d'aquesta tipologia que hi hagi a l'obra i la longitud de cadascun d'ells.
- El valor del pont tèrmic Ψ [W/(m·K)].
- El valor del factor de temperatura de la superfície interior f_{Rsi} per a una resistència tèrmica superficial $R_{si} = 0,25 \text{ m}^2\text{K/W}$, així com el compliment del reglament.



Imatge 3. Detalls constructius mínims a justificar

Descripció	Abreviació	Element constructiu	Paret	Coberta	Llosa	Nota
Llosa - Paret exterior	FSEW	X	X		X	
Llosa - Paret interior	FSIW	X			X	No, si s'utilitza aïllament perimetral.
Paret exterior - cantonada exterior	EWEC	X	X			Només per a construccions en fusta.
Paret exterior - cantonada interior	EWIC	X	X			Només per a construccions en fusta.
Paret exterior - Paret interior	EWIW	X	X			
Paret exterior - forjat	EWCE	X	X			
Ràfecs de coberta	ROEA	X	X	X		Alternativa: coberta plana - Ampit de coberta
Coberta - cantó de coberta	ROVE	X	X	X		No per coberta plana
Carener de coberta	RORI	X		X		Alternativa: teulat monocasi - carener
Paret exterior - ampit finestra	WIBO	X	X		X	
Paret exterior - part llinda finestra	WITO	X	X			Alternativa: amb ombrejat
Paret exterior - brancals finestres	WISI	X	X			
Paret exterior - Llindar	WITH	X	X		X	
Paret exterior lateral porta terrassa	WITD	X	X			Si és diferent del brançal de la finestra.
Coberta - part ampit finestra de coberta	RWBO			X		

Coberta - llinda finestra de coberta	RWTO			X		
Coberta - brançal finestra de coberta	RWSI			X		
Balcó o marquesina						
Nombre de ponts tèrmics mínims a definir		9-14	8-12	6	2-3	

Taula 4. Categories i detalls constructius

17. DOCUMENTS QUE CERTIFIQUIN QUE L'OBRA S'HA EXECUTAT SEGONS LES RECOMANACIONS D'AQUESTA GUIA

- Fotografies dels ponts tèrmics inventariats, on es vegi l'aïllant i que mostrin la solució proposada al projecte.
- Si hi ha canvis respecte a les solucions proposades en el projecte, cal justificar els paràmetres demanats al projecte i el compliment d'aquest document.