

Guia tècnica relativa a les condensacions intersticials i a la implementació de la barrera de vapor en l'edificació

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

Versió 2_ 28/10/2021



**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

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ..... 4

2. NORMES DE REFERÈNCIA..... 4

3. DEFINICIONS, SÍMBOLS I UNITATS..... 5

3.1. DEFINICIONS 5

3.2. SÍMBOLS I UNITATS 6

3.3. SUBÍNDEX..... 7

4. DADES PER AL CÀLCUL 7

4.1. CARACTERÍSTIQUES DELS MATERIALS 7

4.2. CONDICIONS CLIMÀTIQUES DE CONTORN 8

4.2.1. TEMPERATURA EXTERIOR DE CÀLCUL..... 8

4.3. CONDICIONS CLIMÀTIQUES INTERIORS 8

4.3.1. TEMPERATURA D'AIRE INTERIOR..... 8

4.3.2. HUMITAT AMBIENT INTERIOR..... 8

4.4. RESISTÈNCIES SUPERFICIALS..... 8

4.4.1. TRANSMISSIÓ DE CALOR 8

4.4.2. TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA 9

5. CÀLCUL DE LA CONDENSACIÓ INTERSTICIAL 9

5.1. GENERALITATS..... 9

5.2. FONAMENTS..... 9

5.3. LIMITACIONS I FONTS D'ERROR 9

5.4. CÀLCUL..... 10

5.4.1. CARACTERÍSTIQUES DELS MATERIALS 10

5.4.2. CONDICIONS LÍMIT PER A LA CONDENSACIÓ INTERSTICIAL 11

5.4.3. MES DE PARTIDA..... 11

5.4.4. EVOLUCIÓ DE LA TEMPERATURA I LA PRESSIÓ DE SATURACIÓ 11

5.4.5. EVOLUCIÓ DE LA PRESSIÓ DE VAPOR..... 11

5.4.6. QUANTITAT DE CONDENSACIÓ..... 12

5.4.7. EVAPORACIÓ..... 13

5.4.8. EVAPORACIÓ I CONDENSACIÓ 14

5.5. CRITERIS PER AVALUAR ELS ELEMENTS 15

6. CÀLCUL DE L'ASSECAMENT DELS ELEMENTS 15

6.1. GENERALITATS..... 15

6.2. FONAMENTS..... 16

6.3. ESPECIFICACIONS DEL MÈTODE..... 16

6.4. CRITERIS PER AVALUAR EL POTENCIAL D'ASSECAMENT DELS ELEMENTS 16

7. RELACIÓ ENTRE LA TRANSFERÈNCIA D'HUMITAT I LA PRESSIÓ DE VAPOR D'AIGUA..... 16

7.1. PRESSIÓ DE SATURACIÓ DEL VAPOR D'AIGUA EN FUNCIÓ DE LA TEMPERATURA..... 16

7.2. RELACIÓ ENTRE LA PRESSIÓ DE VAPOR I LA HUMITAT PER VOLUM 17

8. VALORS RECOMANATS 18

9. LÍNIA CONTÍNUA DE LA BARRERA DE VAPOR..... 18

10. PROGRAMARIS DE CàLCUL UTILITZABLES..... 18

11. DOCUMENTS QUE CERTIFIQUIN QUE L'OBRA S'HA EXECUTAT SEGONS LES
RECOMANACIONS D'AQUESTA GUIA 18

1. INTRODUCCIÓ

La condensació intersticial succeeix quan la humitat de l'aire calent d'un edifici es desplaça a l'interior dels materials dels murs de l'envolupant tèrmica, i els materials tenen una temperatura inferior al punt de rosada de l'aire calent.

Quan la condensació es manté en el temps dona lloc a diversos problemes, com el creixement de fongs, la putrefacció d'elements de fusta, la corrosió d'elements metàl·lics, etc. El fet que aquests problemes siguin interns comporta que només es detectin quan ja són importants i, per tant, cal evitar-los en el moment que es dissenyi l'edifici.

Aquesta normativa estableix el mètode de càlcul simplificat d'aquestes condensacions per tal d'establir una concepció que les eviti.

S'assumeix que el transport de vapor es fa només a través de la difusió de vapor i utilitzant únicament dades climàtiques mensuals.

Aquesta guia considera:

- a) La humitat superficial crítica en les capes internes constructives dels edificis, ja que pot donar lloc a problemes com el creixement de fongs i les patologies constructives.
- b) Les condensacions intersticials dins d'un component de l'edifici en:
 - períodes de calefacció, en què la temperatura interior és generalment superior a l'exterior;
 - períodes de refrigeració, en què la temperatura interior és generalment inferior a l'exterior;
 - càmeres frigorífiques, on la temperatura és sempre inferior a la que l'envolta.
- c) L'estimació del temps necessari perquè un component, entre capes constructives d'alta resistència al vapor i que s'ha mullat per algun motiu, s'assequi, amb el risc que hi hagi condensació intersticial en qualsevol punt del component durant el procés d'assecament.

Aquesta guia tècnica proporciona mètodes simplificats de càlcul per determinar:

- a) La temperatura superficial interior mínima d'un component o element d'edificació necessària per evitar que es formin fongs, tenint en compte la temperatura i la humitat relativa interior.
- b) El risc de condensació intersticial degut a la difusió del vapor d'aigua. El mètode emprat no té en consideració una sèrie de fenòmens físics importants com:
 - la variació de les característiques dels materials en funció de la humitat
 - la succió capil·lar i la transferència d'humitat en fase líquida dels materials
 - els moviments d'aire entre l'interior i exterior de l'edifici, a través de les fissures del component o en les cavitats d'aire
 - la capacitat higroscòpica dels materials
 - l'aigua de la pluja infiltrada

Per consegüent, aquest mètode només s'aplica en els casos en què els efectes d'aquests fenòmens són insignificants.

- c) El temps necessari perquè l'aigua de qualsevol font, en una capa entre dos capes d'alta resistència al vapor, s'assequi i el risc de condensació intersticial que ocorre en altres llocs en el component durant el procés d'assecament.

2. NORMES DE REFERÈNCIA

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

EN ISO 13788	Característiques higrotèrmiques dels elements i components d'edificació - Temperatura superficial interior per evitar la humitat superficial crítica i la condensació intersticial - Mètodes de càlcul
--------------	--

EN ISO 6946	Components de construcció i elements de construcció - Resistència tèrmica i transmissió tèrmica - Mètode de càlcul
EN ISO 9346	Comportament higrotèrmic dels edificis i dels materials de construcció - Magnituds físiques per a la transferència de massa - Vocabulari
EN ISO 15927-1	Comportament higrotèrmic dels edificis - Càlcul i presentació de dades climàtiques - Part 1: mitjanes mensuals d'elements meteorològics simples

3. 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. DEFINICIONS

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

Temperatura mitjana mensual Temperatura mitjana calculada a partir de valors horaris o la temperatura màxima mínima diària del mes.

Factor de temperatura de la superfície interior Quocient de la diferència entre la temperatura superficial interior i la de l'aire exterior, i la diferència entre la temperatura operativa interior i la de l'aire exterior, calculada amb una resistència superficial en la superfície interior R_{si} :

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

Factor de temperatura útil sobre la superfície interior Factor de temperatura mínim acceptable sobre la superfície interior:

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

Temperatura mínima acceptable Temperatura superficial mínima interior per evitar la formació de fongs.

Temperatura mínima anual mitjana Mitjana de la temperatura més baixa registrada en cada any d'un conjunt d'almenys deu anys.

Excés d'humitat interior Quocient entre la quantitat d'humitat produïda en un espai i el producte de la taxa de renovació d'aire pel seu volum:

$$\Delta v = v_i - v_e = G/(n.V)$$

Gruix d'aire equivalent enfront de la difusió del vapor d'aigua Gruix d'una capa d'aire immòbil que té la mateixa resistència al vapor d'aigua que el gruix del material considerat: $s_d = \mu \cdot d$

Humitat relativa Relació entre la pressió de vapor i la pressió de saturació a la mateixa temperatura:

$$\varphi = \frac{p}{p_{sat}}$$

Humitat superficial crítica	Humitat relativa de la superfície que condueix a un deteriorament, en particular a la formació de fongs.
Període de calefacció	Clima exterior que condueix al risc de condensació quan s'escalfa un edifici, de manera que la temperatura interior i la pressió de vapor són més altes que a l'exterior.
Període de refrigeració	Clima exterior que condueix a un risc de condensació quan es refrigera l'edifici, de manera que la temperatura i la pressió de vapor són més altes a l'exterior.

3.2. SÍMBOLS I UNITATS

Als efectes d'aquest document, s'apliquen els símbols indicats a continuació:

D [m²/s]	Coeficient de difusió del vapor d'aigua en un material
D ₀ [m²/s]	Coeficient de difusió del vapor d'aigua en l'aire
G [kg/h]	Ritme de producció de la humitat interior
M _a [kg/m²]	Contingut acumulat d'humitat per unitat de superfície
R [m²K/W]	Resistència tèrmica
R _v [Pa.m³/(K.kg)]	Constant de gas pel vapor d'aigua = 462
T [K]	Temperatura
U[W/m²K]	Coeficient de transmissió tèrmica d'un element o de la paret
V [m³]	Volum interior de l'edifici
Z _p [m².s.Pa/kg]	Resistència a la difusió del vapor d'aigua en relació amb la pressió parcial de vapor
Z _v [s/m²]	Resistència a la difusió del vapor d'aigua en relació amb la humitat en volum
d [m]	Gruix de la capa del material
f _{Rsi}	Factor de temperatura de la superfície interior
f _{Rsi,min}	Factor de temperatura designada a la superfície interior
g [kg/(m².s)]	Densitat del flux de condensació
n [h ⁻¹]	Taxa de renovació d'aire
p [Pa]	Pressió de vapor
q [W/m²]	Densitat del flux de calor
s _d [m]	Gruix d'aire equivalent enfront de la difusió del vapor d'aigua
t [s]	Temps
w [kg/m³]	Contingut d'humitat per volum

δ_P [kg/(m.s.Pa)]	Permeabilitat al vapor d'aigua del material en relació amb la pressió parcial de vapor
δ_0 kg/(m.s.Pa)]	Permeabilitat al vapor d'aigua de l'aire en relació amb la pressió parcial de vapor
v [kg/m ³]	Humitat de l'aire en volum
Δv [kg/m ³]	Excés d'humitat interior ($v_i - v_e$)
ϕ	Humitat relativa
λ [W/(m.K)]	Conductivitat tèrmica
μ	Factor de resistència a la difusió del vapor d'aigua
θ [°C]	Temperatura en graus Celsius
$\theta_{si,min.}$ [°C]	Temperatura superficial interior mínima acceptable

3.3. SUBÍNDEX

Als efectes d'aquest document, s'apliquen els subíndexs següents:

an	Anual
m	Mitjà
c	Condensació
cr	Valor crític
e	Aire exterior
ev	Evaporació
eq	Equivalent (temperatura exterior)
i	Aire interior
mín.	Valor mínim
n	Interfase
s	Superfície
sat	Valor a la saturació
se	Superfície exterior
si	Superfície interior
T	Total pel conjunt de l'element o la paret

4. DADES PER AL CÀLCUL

4.1. CARACTERÍSTIQUES DELS MATERIALS

S'han d'utilitzar els valors de disseny. Es poden utilitzar els valors presents en les especificacions dels materials o productes o valors de disseny tabulats en les normes esmentades en la taula següent:

Característica	Símbol	Valors de càlcul
Conductivitat tèrmica	Λ	Es poden obtenir o determinar d'acord amb la norma EN ISO 10456.
Resistència tèrmica	R	
Factor de resistència a la difusió del vapor d'aigua	M	Es poden obtenir en la norma EN ISO 10456 o determinar-se d'acord amb la norma EN ISO 12572.
Gruix d'aire equivalent	S_d	

La conductivitat tèrmica (λ) i el factor de resistència a la difusió de vapor (μ) s'apliquen a materials homogenis, mentre que la resistència tèrmica (R) i el gruix equivalent d'aire (s_d) s'aplica a productes compostos o amb gruixos no definits.

Per a les cambres d'aire, R s'agafa seguint la norma EN ISO 6946 i s_d es considera igual a 0,01 m, independentment del gruix.

4.2. CONDICIONS CLIMÀTIQUES DE CONTORN

4.2.1. TEMPERATURA EXTERIOR DE CàLCUL

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

4.2.1.1. Aire exterior

Per definir les condicions d'humitat de l'aire exterior, 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'utilitzar la humitat relativa exterior corresponent a les temperatures definides en l'apartat 6.2.2.

4.2.1.2. Condicions d'humitat del terreny

Es considera saturació ($\varphi=1$).

4.3. CONDICIONS CLIMÀTIQUES INTERIORS

4.3.1. TEMPERATURA D'AIRE INTERIOR

Excepte en piscines cobertes i 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 la condensació intersticial.

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

4.3.2. 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 del 50%HR per calcular la condensació intersticial.

En el cas d'espais que per raons d'ús necessiten una humitat especial diferent d'aquesta, s'ha d'agafar el valor de la humitat real.

4.4. RESISTÈNCIES SUPERFICIALS

4.4.1. TRANSMISSIÓ DE CALOR

El valor de R_{se} s'ha de prendre com a 0,04 m²K/W.

Per evitar la condensació o formació de fongs en superfícies opaques i representar l'efecte de cantonades, de mobles, de cortines o de falsos sostres, que disminueixen la convecció interior, s'ha de prendre un valor de resistència tèrmica superficial interior de $R_{si} = 0,25$ m²K/W.

Els valors de R_{si} donats a la taula següent permeten avaluar la condensació intersticial o condensació superficial en finestres i portes, sense els efectes anteriors.

Direcció del flux de calor	Resistència tèrmica R_{si} (m^2K/W)
Ascendent	0,10
Horitzontal	0,13
Descendent	0,17

4.4.2. TRANSMISSIÓ DE VAPOR D'AIGUA

La resistència superficial a la transmissió del vapor d'aigua es considera insignificant en els càlculs, d'acord amb aquesta guia tècnica.

5. CÀLCUL DE LA CONDENSACIÓ INTERSTICIAL

5.1. GENERALITATS

Aquest apartat especifica un mètode per calcular el balanç anual d'humitat i la quantitat màxima d'humitat acumulada deguda a la condensació intersticial. Convé considerar aquest mètode com una eina d'avaluació, més que com una eina de predicció precisa. És convenient comparar diferents construccions i avaluar els efectes d'algunes modificacions. Aquest apartat no proporciona un pronòstic precís de les condicions esperades d'humitat dins de l'estructura en condicions d'ús.

5.2. FONAMENTS

Partint del primer mes en què es preveu condensació, s'agafen els valors mitjans de les condicions exteriors per calcular la quantitat de condensació o d'evaporació per a cada mes de l'any. La quantitat d'aigua acumulada a la fi dels mesos en què hi ha hagut condensació es compara amb la quantitat d'evaporació durant els mesos restants de l'any. Es parteix d'un supòsit de règim estacionari i unidimensional. Els moviments d'aire dins dels elements constructius no es prenen en consideració. L'únic efecte del moviment d'aire considerat és el de la presència de la cambra d'aire contínua, que ha d'estar ben ventilada a l'exterior com es defineix en la norma ISO 6946. No es considera l'efecte del moviment d'aire a través del component de l'edifici.

Es pressuposa que la transferència d'humitat és la difusió del vapor d'aigua pura, i es representa amb l'equació següent:

$$g = \frac{\delta_0}{\mu} \frac{\Delta p}{d} = \delta_0 \frac{\Delta p}{s_d}$$

on $\delta_0 = 2 \times 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$.

NOTA: δ_0 depèn de la temperatura i de la pressió baromètrica, però en aquesta norma aquestes influències no s'han tingut en compte.

La transmissió de calor ve definida per:

$$q = \lambda \frac{\Delta \theta}{d} = \frac{\Delta \theta}{R}$$

5.3. LIMITACIONS I FONTS D'ERROR

Hi ha diverses fonts d'error degudes a les simplificacions descrites en l'apartat 8.2:

- a) La conductivitat tèrmica depèn del contingut d'humitat i la calor és alliberada/absorbida per la condensació/evaporació. Això canvia la distribució de la temperatura i els valors de saturació i afecta la quantitat de condensació/evaporació.
- b) L'ús de materials amb propietats constants és una aproximació.
- c) En molts materials hi ha succió capil·lar i transferència líquida d'humitat i això podria canviar la distribució d'humitat.

- d) Els moviments o les fuites d'aire podrien canviar la distribució d'humitat per la convecció d'humitat. La pluja o la neu fosa poden afectar també les condicions d'humitat.
- e) En la realitat, les condicions límit no són constants al llarg d'un mes.
- f) La majoria dels materials són més o menys higroscòpics (tenen certa capacitat d'absorbir vapor d'aigua).
- g) Es parteix d'una transferència d'humitat unidimensional.
- h) No es tenen en compte els efectes de radiacions solars ni d'ona llarga.

NOTA: degut als diversos orígens d'error, aquest mètode de càlcul és menys convenient per a certs components d'edificació i climes. Si no es té en compte la transferència d'humitat en la fase líquida, normalment se sobreestima el risc de condensació intersticial.

Aquesta guia no en preveu l'ús en elements constructius on hi hagi flux d'aire dins o a través de l'element o on s'absorbeixi l'aigua de la pluja.

5.4. CÀLCUL

5.4.1. CARACTERÍSTIQUES DELS MATERIALS

Es divideix l'element de construcció en una sèrie de capes homogènies de cares paral·leles i es defineixen les característiques dels materials de cada capa, així com els coeficients superficials, d'acord amb els apartats 4.4.1 i 4.4.2. Cadascuna de les capes dels productes o components multicapa, inclosos els productes amb recobriments o revestiments, s'han de tractar independentment, considerant les característiques tèrmiques i les propietats de difusió del vapor d'aigua. Es calcula la resistència tèrmica de cada capa (R) i el gruix d'aire equivalent per a la difusió de vapor (s_d) de cada capa individual de la paret. Es recomana subdividir els elements que tinguin una resistència tèrmica més gran de 0,25 m²K/W en un nombre de capes que tinguin la mateixa resistència tèrmica, sense que superin els 0,25 m²K/W; aquestes subdivisions són considerades en el càlcul com a capes diferents de material.

Si l'element conté una capa que està ben ventilada a l'exterior, tal com es defineix en l'apartat 5.3.4 de la norma ISO 6946: 2007, no es tenen en compte totes les capes material entre la cambra i l'exterior.

Certs materials, com les xapes metàl·liques, impossibiliten el pas del vapor d'aigua i tenen un valor de μ infinit. No obstant això, com que per al càlcul es requereix un valor del material de μ finit, s'hauria de partir d'un valor de 100.000 per a aquests materials. Això pot fer que s'hagi de preveure una quantitat insignificant d'aigua condensada, que no s'hauria de tenir en consideració si tenim en compte la imprecisió del mètode de càlcul.

Es calculen els valors acumulats de la resistència tèrmica i el gruix d'aire equivalent per a la difusió de vapor partint de l'exterior cap a cada interfase n:

$$R'_n = R_{se} + \sum_{j=1}^n R_j$$

$$s'_{d,n} = \sum_{j=1}^n s_{d,j}$$

La resistència tèrmica total i el gruix d'aire equivalent a la difusió de vapor es donen en les equacions següents:

$$R'_T = R_{si} + \sum_{j=1}^N R_j + R_{se}$$

$$s'_{d,T} = \sum_{j=1}^N s_{d,j}$$

5.4.2. CONDICIONS LÍMIT PER A LA CONDENSACIÓ INTERSTICIAL

Es defineixen la temperatura i la humitat interiors i exteriors d'acord amb l'apartat 4.3.

Si l'element conté una capa que estigui ben ventilada a l'exterior, es pressuposa que la temperatura i la pressió de vapor a la cambra són iguals a les de l'aire exterior. Es pressuposa també que la resistència tèrmica superficial exterior és la mateixa que el valor interior corresponent a la direcció del flux de calor.

5.4.3. MES DE PARTIDA

Partint d'un mes qualsevol de l'any (mes de prova), es calcula el repartiment de la temperatura, de la pressió de saturació a través de l'element, d'acord amb el que indiquen els apartats 5.4.4 i 5.4.5. Es determina si es produeix condensació.

Si no es produeix condensació en el mes de prova, es repeteix el càlcul amb els mesos següents fins que:

- a) No es trobi condensació en cap dels dotze mesos de l'any; l'informe indicarà que l'element està exempt de qualsevol condensació.
- b) Es trobi un mes en què s'hagi format condensació; aquest ha de ser el mes de partida.

Si es troba condensació al mes de prova, es repeteix el càlcul amb els mesos precedents fins que:

- c) Es prevegi que hi ha condensació durant tots els mesos; en aquest cas, partint de qualsevol mes, s'ha de calcular l'acumulació de condensació total anual segons els apartats 5.4.4, 5.4.5 i 5.4.6.
- d) Es trobi un mes en què no s'hagi format condensació; en aquest cas, el mes següent ha de ser el mes de partida.

NOTA: l'elecció d'un mes de prova entre els dos o tres que precedeixen l'estació més freda de l'any permet trobar, normalment amb rapidesa, el mes de partida.

Si s'ha determinat un mes de partida, s'efectuen els càlculs especificats en els apartats 5.4.4, 5.4.5 i 5.4.6 per cada mes de l'any, començant pel de partida.

5.4.4. EVOLUCIÓ DE LA TEMPERATURA I LA PRESSIÓ DE SATURACIÓ

Es calcula la temperatura a cadascuna de les interfases entre capes tal com segueix:

$$\theta'_n = \theta_e + \frac{R'_n}{R'_T}(\theta_i - \theta_e)$$

Com que s'ha pressuposat que hi ha un règim estacionari, l'evolució de la temperatura a cada capa és lineal, a causa de la hipòtesi de condicions estabilitzades.

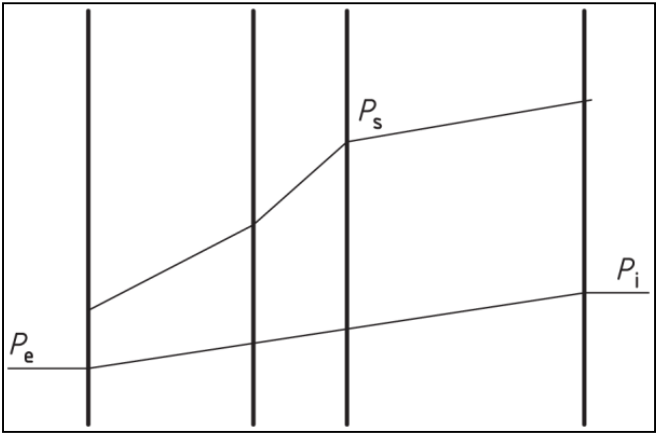
5.4.5. EVOLUCIÓ DE LA PRESSIÓ DE VAPOR

Es dibuixa una secció transversal de l'element de l'edifici amb els gruixos equivalents de difusió de vapor d'aigua de cada capa (s_d) (vegeu la imatge 1). Es dibuixa unint amb línies rectes els punts corresponents a les pressions de saturació en cada interfase entre dos materials.

Si no hi ha condensació acumulada del mes anterior, es dibuixa l'evolució de la pressió de vapor com una línia recta entre la pressió de vapor interior i l'exterior (p_i i p_e) (vegeu la imatge 2), ja que la pressió de vapor és inferior en tots els punts a la de saturació.

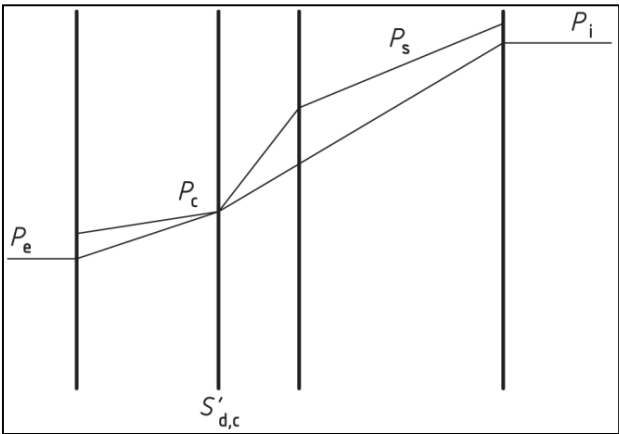
El flux de vapor a través de l'element de l'edifici es pot calcular com segueix:

$$g = \delta_0 \frac{p_i - p_e}{s'_{d,T}}$$



Imatge 1. Difusió de vapor d'aigua en un element de construcció multicapa sense cap condensació intersticial.

Si la pressió de vapor és superior a la de pressió de saturació en alguna de les interfases, es pressuposa que el valor local de la pressió de vapor és igual a la pressió de saturació i es torna a dibuixar la pressió de vapor mitjançant una sèrie de línies tangents en el menor nombre de punts possibles, però sense superar el perfil de la pressió de saturació (vegeu els exemples en les imatges 2 i 3). Els punts de tangència representen les superfícies de condensació.



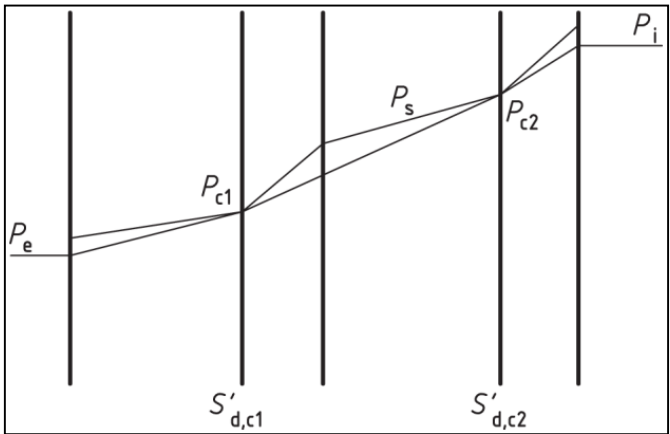
Imatge 2. Difusió de vapor d'aigua amb condensació intersticial en una pla interfase

5.4.6. QUANTITAT DE CONDENSACIÓ

La quantitat de condensació és la diferència entre la quantitat d'humitat transportada cap i des de la interfase de condensació:

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_c - p_e}{s'_{d,c}} \right)$$

En un component d'edificació amb més d'una interfase de condensació, es manté un registre de la quantitat de condensació en cada interfase.



Imatge 3. Difusió de vapor d'aigua amb condensació intersticial en dos plans d'interfase

La quantitat de condensació es calcula per a cada pla de condensació a partir de la diferència entre el pendent de les rectes successives, és a dir, en el cas **que hi hagi** dos interfícies de condensació (vegeu la imatge 3).

Interfase c1:

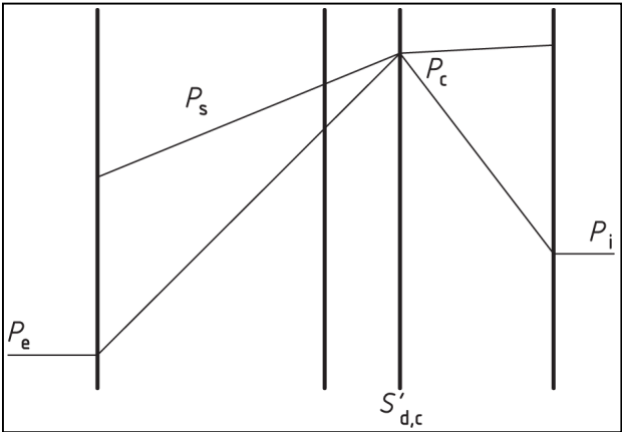
$$g_{c1} = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right)$$

Interfase c2:

$$g_{c2} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right)$$

5.4.7. EVAPORACIÓ

Quan s'ha produït condensació en una o més interfases, **que s'ha acumulat durant els mesos precedents**, la pressió de vapor ha de ser igual al valor de la pressió de saturació i l'evolució de la pressió de vapor s'ha de dibuixar com a línies rectes entre els valors que representen la pressió de vapor interior, la dels plans de condensació i la pressió de vapor exterior (vegeu la imatge 4). Si el perfil de pressió de vapor creua la corba de saturació, les línies de pressió de vapor s'han de dibuixar com s'indica en l'apartat 5.4.4.



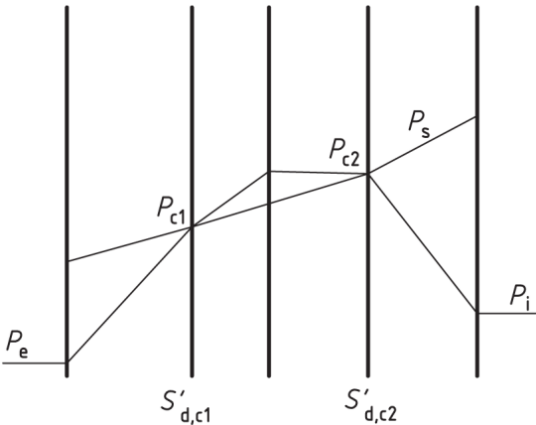
Imatge 4. Evaporació des d'un pla d'un component de l'edifici

La quantitat d'evaporació es calcula de la manera següent:

$$g_{ev} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_c}{s'_{d,T} - s'_{d,c}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c}} \right)$$

NOTA: les expressions per la quantitat d'evaporació i la condensació són les mateixes. Per convenció, la condensació té lloc si l'expressió és positiva i l'evaporació si l'expressió és negativa.

En un component d'edificació amb més d'una interfase de condensació, la quantitat d'evaporació es calcula separatament per a cada interfase (vegeu la imatge 5).



Imatge 5. Evaporació en un component d'edificació, quan la condensació ocorre en dos interfases.

Les quantitats d'evaporació per a dos interfícies d'evaporació es calculen de la manera següent:

En la interfase c1:

$$g_{ev1} = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right)$$

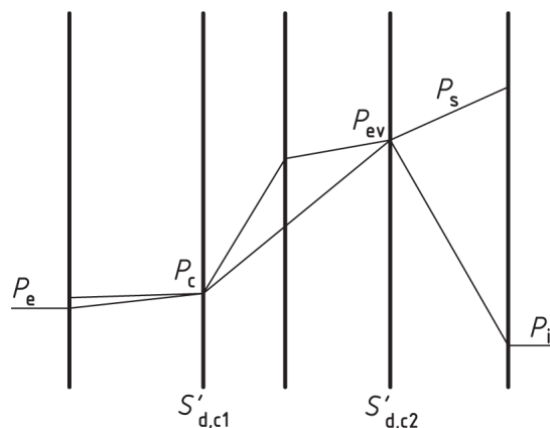
En la interfase c2:

$$g_{ev2} = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right)$$

Si la quantitat acumulada de condensació en un plànol al final del mes té un valor negatiu, es considera com un valor zero o es calcula el temps per a la condensació acumulada fins a arribar a zero i després es divideix el mes en dos parts, amb condensació en el pla i sense.

5.4.8. EVAPORACIÓ I CONDENSACIÓ

En un component d'edificació amb més d'una interfase de condensació, pot haver-hi mesos amb condensació en un pla i evaporació en un altre (vegeu la imatge 6).



Imatge 6. Evaporació en una interfase i condensació en un altre component de l'edifici en què ha aparegut condensació en dos interfases.

La quantitat de condensació (g_c) o d'evaporació (g_{ev}) es calcula per a cada interfase per separat:

La condensació entre la capa 1 i 2:

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} - \frac{p_{c1} - p_e}{s'_{d,c1}} \right)$$

La condensació entre la capa 3 i 4:

$$g_c = \delta_0 \left(\frac{p_i - p_{c2}}{s'_{d,T} - s'_{d,c2}} - \frac{p_{c2} - p_{c1}}{s'_{d,c2} - s'_{d,c1}} \right)$$

5.5. CRITERIS PER AVALUAR ELS ELEMENTS

Es registren els resultats d'acord amb els paràgrafs a), b) o c), segons el que sigui aplicable:

- a) No s'ha previst que hi hagi condensació en cap pla durant cap mes. En aquest cas, s'indica que l'element està lliure de condensació intersticial.
- b) Es produeix condensació en un o més plans, però per a cada un d'ells la condensació s'evapora durant els mesos d'estiu.

En aquest cas, s'indica la quantitat màxima de condensació acumulada en cada pla i el mes en què es produeix aquest màxim. A més, el risc que s'entollin o es degradin els materials de construcció i les prestacions tèrmiques a causa de l'acumulació de condensació s'ha de considerar en funció dels requisits reglamentaris i d'altres recomanacions de les normes del producte.

NOTA: si l'acumulació màxima de condensació excedeix de 200g/m², el risc de residus dels materials no absorbents és molt elevat.

- c) La condensació que s'hagi produït en un o diversos plans no s'evapora completament.

En aquest cas, s'indica que l'estructura falla en l'avaluació i s'indica la quantitat màxima d'humitat que existeix en cada pla, així com la humitat que persisteix al cap de dotze mesos.

6. CÀLCUL DE L'ASSECAMENT DELS ELEMENTS

6.1. GENERALITATS

Aquest capítol ofereix un mètode per establir el potencial d'assecat dels components de la construcció, especialment els que delimiten les capes amb alta resistència al vapor, com les làmines, membranes o capes amb $s_d > 2m$, que no han mostrat cap condensació perjudicial,

d'acord amb el procediment establert al capítol 5, sota el clima interior i exterior imposat. També avalua el risc de condensació intersticial en un altre lloc dins del component, causat per l'aigua que s'evapora d'una capa mullada.

NOTA: el material de les capes pot estar mullat a causa de la humitat de l'edifici per la pluja durant la construcció, una fugida de serveis, un defecte en la impermeabilització o un problema previ de condensació intersticial abans que es repari.

El mètode s'hauria de considerar com una avaluació, més que com una eina de predicció exacta. Per comparar diferents construccions és convenient avaluar l'efecte de les modificacions.

6.2. FONAMENTS

El procediment pressuposa que hi ha un excés d'humitat d'1kg/m² concentrat al centre d'una capa determinada. Per calcular la quantitat d'evaporació en cada un dels dotze mesos de l'any, s'utilitzen les condicions exteriors mitjanes. S'informa del temps en mesos com la quantitat de temps que tarda a assecat-se completament l'estructura. Al mateix temps, s'avalua el risc de condensació causada per l'excés d'humitat evaporat en altres interfícies.

6.3. ESPECIFICACIONS DEL MÈTODE

- a) S'especifica el material de la capa que estigui mullada.
- b) Es divideix aquesta capa en dos parts iguals, amb una interfície entre ells.
- c) S'introdueix humitat d'1 kg/m² en aquesta interfície.

Es porta a terme el procediment de condensació intersticial especificat en els apartats 5.4.4 a 5.4.8 a partir del mes adequat i es repeteixen els càlculs mensuals fins que l'excés d'humitat s'hagi assecat o s'hagi calculat amb una previsió de deu anys.

6.4. CRITERIS PER AVALUAR EL POTENCIAL D'ASSECAMENT DELS ELEMENTS

S'informa dels resultats dels càlculs segons els apartats a), b) o c), segons correspongui:

- a) Assecat durant deu anys sense condensació en altres capes.

En aquest cas, s'informa del temps d'assecat en mesos i s'estima el risc de degradació de la capa que conté l'excés d'humitat.

- b) Assecat durant deu anys amb condensació temporal en altres capes.

En aquest cas, s'informa del temps d'assecat en mesos i de la quantitat màxima d'aigua de condensació que hi va haver en cada interfície i el mes en què es va produir el màxim. A més, el risc d'entollament d'aigua o de degradació de materials de construcció i deteriorament del rendiment tèrmic, com a conseqüència de la quantitat màxima calculada d'humitat, s'ha de considerar segons els requisits reglamentaris i altres indicacions en normes de productes.

- c) Temps d'assecat de més de deu anys.

7. RELACIÓ ENTRE LA TRANSFERÈNCIA D'HUMITAT I LA PRESSIÓ DE VAPOR D'AIGUA

7.1. PRESSIÓ DE SATURACIÓ DEL VAPOR D'AIGUA EN FUNCIÓ DE LA TEMPERATURA

Les fórmules empíriques següents proporcionen la pressió de saturació de vapor d'aigua en funció de temperatura:

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{17,269 \theta}{237,3+\theta}} \quad \text{per } \theta \geq 0^{\circ}\text{C}$$

$$p_{sat} = 610,5 e^{\frac{21,875 \theta}{265,53+\theta}} \quad \text{per } \theta < 0^{\circ}\text{C}$$

Les fórmules anteriors es poden invertir per permetre el càlcul de la temperatura corresponent a qualsevol pressió de saturació:

$$\theta = \frac{237,3 \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{17,269 \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} \quad \text{per } p_{sat} \geq 610,5 \text{ Pa}$$

$$\theta = \frac{265,5 \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)}{121,875 \log_e\left(\frac{p_{sat}}{610,5}\right)} \quad \text{per } p_{sat} < 610,5 \text{ Pa}$$

θ °C	P_{sat} Pa	v_{sat} kg/m ³	θ °C	P_{sat} Pa	v_{sat} kg/m ³
-20	103	0,00088	11	1 312	0,00999
-19	113	0,00096	12	1 402	0,01064
-18	124	0,00105	13	1 497	0,01132
-17	137	0,00115	14	1 598	0,01204
-16	150	0,00126	15	1 704	0,01280
-15	165	0,00138	16	1 817	0,01360
-14	181	0,00151	17	1 937	0,01444
-13	198	0,00165	18	2 063	0,01533
-12	217	0,00180	19	2 196	0,01626
-11	237	0,00196	20	2 337	0,01725
-10	259	0,00213	21	2 486	0,01828
-9	283	0,00232	22	2 642	0,01937
-8	309	0,00252	23	2 808	0,02051
-7	338	0,00274	24	2 982	0,02171
-6	368	0,00298	25	3 166	0,02297
-5	401	0,00324	26	3 359	0,02430
-4	437	0,00351	27	3 563	0,02568
-3	475	0,00381	28	3 778	0,02714
-2	517	0,00413	29	4 003	0,02866
-1	562	0,00447	30	4 241	0,03026
0	611	0,00484	31	4 490	0,03194
1	656	0,00518	32	4 752	0,03369
2	705	0,00555	33	5 027	0,03552
3	757	0,00593	34	5 316	0,03744
4	813	0,00634	35	5 619	0,03945
5	872	0,00678	36	5 937	0,04155
6	935	0,00724	37	6 271	0,04374
7	1 001	0,00773	38	6 621	0,04603
8	1 072	0,00825	39	6 987	0,04843
9	1 147	0,00880	40	7 371	0,05092
10	1 227	0,00938			

Taula 1. Pressió de saturació i humitat absoluta

7.2. RELACIÓ ENTRE LA PRESSIÓ DE VAPOR I LA HUMITAT PER VOLUM

La relació entre la pressió de vapor i la humitat per volum ve donada per l'equació següent:

$$p = v R_v T$$

on:

R_v és la constant del gas per l'aigua = 462 Pa m³/(Kg)

T és la temperatura absoluta en graus Kelvin

v és la humitat de l'aire per unitat de volum kg_{H_2O} / m^3_{aire}

La diferència Δp entre la pressió de vapor interior i exterior es calcula com segueix:

$$\Delta p = \Delta v R_v \frac{(T_i + T_e)}{2} = \frac{G}{nV} R_v \frac{(T_i + T_e)}{2}$$

8. VALORS RECOMANATS

El disseny arquitectònic ha de garantir que estigui lliure de condensacions intersticials. Quan es produeixin, cal instal·lar una barrera de vapor que les eviti.

9. LÍNIA CONTÍNUA DE LA BARRERA DE VAPOR

La barrera de vapor 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, i ha d'estar situada en la zona on es verifiqui per càlcul que no es produiran condensacions a l'interior dels tancaments.

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

10. PROGRAMARIS DE CàLCUL UTILITZABLES

Els càlculs de les condensacions intersticials es poden fer amb un programari que segueixi la norma EN ISO 13788.

Això s'ha de justificar adjuntant al projecte el certificat emès pel fabricant del programari on ho certifiqui.

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

- Fotografies de cada tipologia de tancament inventariada al projecte, on es vegin tots els materials utilitzats, que s'hagin fet amb una regla per veure el gruix de cada element i la situació de la barrera de vapor, si escau.
- La fitxa tècnica de les barreres de vapor utilitzades a l'obra, que indiqui si correspon a la del projecte o si s'ha canviat. En aquest cas, cal justificar els càlculs amb el nou material.