

CÁLCULO DE CONDENSACIONES

Para el cálculo de la aparición de posibles condensaciones en los cerramientos del edificio se debe cumplir la metodología del anexo G de la sección HE 1.

DATOS DE PARTIDA

TEMPERATURA EXTERIOR

1.- Si el edificio está en una capital de provincia: Se tomará la temperatura de la tabla G.2 para el mes correspondiente (son temperaturas medias):

Localidad	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	5,0 HR _{med}	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
Alicante	11,6 HR _{med}	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
Almería	12,4 HR _{med}	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
Ávila	3,1 HR _{med}	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
Badajoz	8,7 HR _{med}	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
Barcelona	8,8 HR _{med}	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,6	9,6
Bilbao	8,9 HR _{med}	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	16,8	16,0	11,8	9,5
Burgos	2,6 HR _{med}	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
Caceres	7,8 HR _{med}	9,3	11,7	13,0	16,6	22,3	26,1	25,4	23,6	17,4	12,0	8,8
Cádiz	12,8 HR _{med}	13,6	14,7	16,2	18,7	21,5	24,0	24,5	23,5	20,1	16,1	13,3
Castellón	10,1 HR _{med}	11,1	12,7	14,2	17,2	21,3	24,1	24,5	22,3	18,3	13,5	11,2
Ceuta	11,5 HR _{med}	11,6	12,6	13,9	16,3	18,8	21,7	22,2	20,2	17,7	14,1	12,1
Ciudad Real	5,7 HR _{med}	7,2	9,6	11,9	16,0	20,8	25,0	24,7	21,0	14,8	9,1	5,9
Córdoba	9,5 HR _{med}	10,9	13,1	15,2	19,2	23,1	26,9	26,7	23,7	18,4	12,9	9,7
A Coruña	10,2 HR _{med}	10,5	11,3	12,1	14,1	16,4	18,4	18,9	16,1	15,7	12,7	10,9
Cuenca	4,2 HR _{med}	5,2	7,4	9,6	13,6	18,2	22,4	22,1	18,6	12,9	7,6	4,8
Girona	6,8 HR _{med}	7,9	9,8	11,6	15,4	19,4	22,8	22,4	19,9	15,2	10,2	7,7
Granada	6,5 HR _{med}	8,4	10,5	12,4	16,3	21,1	24,3	24,1	21,1	15,4	10,6	7,4
Guadalajara	5,5 HR _{med}	6,8	8,8	11,6	15,3	19,8	23,5	22,8	19,5	14,1	9,0	5,9
Huelva	12,2 HR _{med}	12,8	14,4	16,5	19,2	22,2	25,3	25,7	23,7	20,0	15,4	12,5
Huesca	4,7 HR _{med}	6,7	9,0	11,3	15,3	19,5	23,3	22,7	19,7	14,6	8,7	5,3
Jaén	8,7 HR _{med}	9,9	12,0	14,3	18,5	23,1	27,2	27,1	23,6	17,6	12,2	8,7
Laón	3,1 HR _{med}	4,4	6,6	8,6	12,1	16,4	19,7	19,1	16,7	11,7	6,8	3,8
Lleida	5,5 HR _{med}	7,8	10,3	13,0	17,1	21,2	24,6	24,0	21,1	15,7	9,2	5,8
Logroño	5,8 HR _{med}	7,3	9,4	11,5	15,1	19,0	22,2	21,8	19,2	14,4	9,1	6,3
Lugo	5,8 HR _{med}	6,5	7,8	9,5	11,7	14,9	17,2	17,5	16,0	12,5	8,6	5,3
Madrid	6,2 HR _{med}	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
Málaga	12,2 HR _{med}	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
Malilla	13,2 HR _{med}	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
Murcia	10,6 HR _{med}	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
Ourense	7,4 HR _{med}	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
Oviedo	7,5 HR _{med}	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
Palencia	4,1 HR _{med}	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
Palma de Mallorca	11,6 HR _{med}	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
Palmas, Las	17,5 HR _{med}	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
Pamplona	4,5 HR _{med}	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
Pontvedra	9,9 HR _{med}	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
S. Sebastián	7,9 HR _{med}	8,5	9,4	10,7	13,6	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6
Salamanca	3,7 HR _{med}	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	17,5	12,3	7,0	4,1
Santa Cruz de Tenerife	17,9 HR _{med}	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8
Santander	9,7 HR _{med}	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,6	16,1	12,5	10,5
Segovia	4,1 HR _{med}	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3
Sevilla	10,7 HR _{med}	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1
Soria	2,9 HR _{med}	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4
Tarragona	10,0 HR _{med}	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7
Teruel	3,8 HR _{med}	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5
Toledo	6,1 HR _{med}	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1
Valencia	10,4 HR _{med}	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9
Valladolid	4,1 HR _{med}	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
Vitoria	4,6 HR _{med}	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0
Zamora	4,3 HR _{med}	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9
Zaragoza	6,2 HR _{med}	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5

2.- Si el edificio está en una localidad de una provincia: si no dispone de registros climáticos contrastados, se supondrá que la temperatura exterior es igual a la de la capital de provincia correspondiente minorada en 1 °C por cada 100 m de diferencia de altura entre ambas localidades. Si la localidad se encuentra a menor altura que la de referencia se tomará para dicha localidad la misma temperatura.

HUMEDAD RELATIVA EXTERIOR

1.- Si el edificio está en una capital de provincia: Se tomará la humedad relativa de la tabla G.2 para el mes correspondiente (son humedades relativas medias)

2.- Si el edificio está en una localidad de una provincia:

a) Se calcula la P_{sat} de su capital de provincia según la fórmula

$$P_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta_e}{237,3 - \theta_e}}$$

si la temperatura exterior θ_e es mayor o igual a 0°C

$$P_{\text{sat}} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta_e}{265,5 - \theta_e}}$$

si la temperatura exterior θ_e es menor a 0°C

b) una vez conocida su P_{sat} , se obtiene la presión de vapor de la capital, sabiendo la humedad relativa de la capital por la tabla anterior, mediante la fórmula

$$P_e = \phi_e \cdot P_{\text{sat}}(\theta_e)$$

siendo ϕ_e la humedad relativa exterior para la capital de provincia y el mes de cálculo [en tanto por 1]

c) se calcula ahora la P_{sat} de la localidad ($P_{sat,loc}$) sabiendo la temperatura exterior de la misma por las fórmulas vistas en el punto a)

d) sabiendo la $P_{sat,loc}$ (apartado c) y la P_e de la capital (apartado b), la humedad relativa de la localidad para ése mes será (suponiendo que su humedad absoluta es igual que la de su capital – apartado 3 de G.1.1.)

$$\phi_{e,loc} = P_e / P_{sat,loc}(\theta_{e,loc})$$

Si la localidad se encuentra a menor altura que la de referencia se tomará para dicha localidad la misma temperatura y humedad que la que corresponde a la capital de provincia

TEMPERATURA INTERIOR

Se tomará una temperatura del ambiente interior igual a 20 °C.

HUMEDAD RELATIVA INTERIOR

Si se dispone del dato de humedad relativa interior y ésta se mantiene constante, debido por ejemplo a un sistema de climatización, se podrá utilizar dicho dato en el cálculo añadiéndole 0,05 como margen de seguridad.

En caso de conocer el ritmo de producción de la humedad interior G , y la tasa de renovación de aire n , se podrá calcular la humedad relativa interior del mes de enero mediante el siguiente método:

Se estima el incremento de presión de vapor debido a la producción de vapor en el interior y la ventilación:

$$\Delta p = \frac{G}{n \cdot V} \cdot R_v \cdot \frac{T_i + T_e}{2}$$

En donde T_i y T_e son respectivamente las temperaturas absolutas interior y exterior en °K

R_v es la constante de gas para el agua = 462 Pa.m³/(°K.kg)

G es la producción de vapor en el interior del edificio en kg/h

n es el número de renovaciones hora del aire por ventilación

V es el volumen del local considerado en m³

Conocido el incremento de la presión de vapor, se puede calcular la presión de vapor interior resultante como:

$$P_i = P_e + \Delta p \quad (1)$$

¿Cómo se halla la presión de vapor exterior P_e ? Tal y como hemos visto anteriormente lo hacemos sabiendo la $P_{sat}(\theta_e)$ y la humedad relativa ϕ_e :

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta_e}{237,3 + \theta_e}}$$

si la temperatura exterior θ_e es mayor o igual a 0°C

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta_e}{265,5 + \theta_e}}$$

si la temperatura exterior θ_e es menor a 0°C

$$P_e = \phi_e \cdot P_{sat}(\theta_e)$$

Sabiendo la temperatura superficial interior θ_{si} podemos calcular la presión de vapor del aire a ésa temperatura $P_{sat}(\theta_{si})$ por las fórmulas:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta_{si}}{237,3 + \theta_{si}}}$$

si la temperatura exterior θ_{si} es mayor o igual a 0°C

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta_{si}}{265,5 + \theta_{si}}}$$

si la temperatura exterior θ_{si} es menor a 0°C

Pues bien, con el dato de la $P_{sat}(\theta_{si})$ y de P_i (1), obtenemos la humedad relativa interior por la fórmula:

$$\phi_i = \frac{100 \cdot P_i}{P_{sat}(\theta_{si})}$$

Para el caso del cálculo de condensaciones intersticiales, si no tenemos datos relevantes, se puede aplicar como norma humedad relativa del ambiente interior en función de la clase de higrometría del espacio:

- a) clase de higrometría 5: 70%
- b) clase de higrometría 4: 62%
- c) clase de higrometría 3 o inferior: 55%

COMPROBACIÓN DE LAS CONDENSACIONES

CONDENSACIONES SUPERFICIALES

Aparece una nueva variable que se llama *Factor de temperatura de la superficie interior* f_{Rsi} que es el cociente entre la diferencia de temperatura superficial interior y la del ambiente exterior y la diferencia de temperatura del ambiente interior y exterior.

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

Tal y como dice el apartado 3.2.3.1., hay que comparar el factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} y el factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$ para las condiciones interiores y exteriores correspondientes al mes de enero de tal forma que f_{Rsi} tiene que ser superior a $f_{Rsi,min}$ para que no haya condensaciones superficiales.

Si no tienen datos precisos, los valores de la $f_{Rsi,min}$ se obtienen de la tabla:

Tabla 3.2 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$

Categoría del espacio	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Clase de higrometría 5	0.80	0.80	0.80	0.90	0.90
Clase de higrometría 4	0.66	0.66	0.69	0.75	0.78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0.50	0.52	0.56	0.61	0.64

Cálculo de f_{Rsi} :

$$f_{Rsi} = 1 - U \cdot 0,25$$

Cálculo de $f_{Rsi,min}$:

Calculamos la presión de vapor interior P_i por la fórmula:

$$P_i = \phi_i \cdot 2337$$

Siendo ϕ_i la humedad relativa interior

La presión de saturación máxima aceptable en la superficie es:

$$P_{sat} = \frac{P_i}{0,8}$$

Partiendo del dato de P_{sat} , calculamos la temperatura superficial mínima aceptable $\theta_{si,min}$ con la siguiente expresión:

$$\theta_{si,min} = \frac{237,3 \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}{17,269 - \log_e \left(\frac{P_{sat}}{610,5} \right)}$$

Con éste último dato, hallamos $f_{R_{si,min}}$ con:

$$f_{R_{si,min}} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{20 - \theta_e}$$

Siendo θ_e la temperatura exterior de la localidad para el mes de enero

CONDENSACIONES INTERSTICIALES

En primer lugar se calcula la resistencia térmica de cada una de las capas que forman el cerramiento y, a continuación, la resistencia total considerando las resistencias superficiales de la pared interior y la exterior.

$$R_T = R_{se} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{si}$$

donde

R_T : resistencia térmica total del cerramiento.

R_{se} : resistencia térmica de la pared exterior del cerramiento.

$R_1 \dots R_n$: resistencias térmicas de cada capa del cerramiento.

R_{si} : resistencia térmica de la pared interior del cerramiento.

Distribución de la temperatura

A continuación se obtienen las diferentes temperaturas mediante las siguientes expresiones:

a) Temperatura de la pared exterior del cerramiento:

$$\theta_{se} = \theta_e + \frac{R_{se}}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

siendo

θ_{se} : la temperatura de la superficie exterior del cerramiento [°C].

θ_e : la temperatura exterior media del mes de enero [°C] de la localidad en la que se ubica el edificio.

θ_i : la temperatura del espacio interior. Se considerarán 20 °C.

R_T : la resistencia térmica total del componente constructivo [m² K/ W].

R_{se} : la resistencia térmica superficial correspondiente al aire exterior [m² K/W].

b) Temperatura de cada capa del cerramiento:

$$\theta_1 = \theta_{se} + \frac{R_1}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{R_2}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

$$\theta_n = \theta_{n-1} + \frac{R_n}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

siendo

θ_{se} : la temperatura de la superficie exterior del cerramiento [°C].

$\theta_{1,2,\dots,n}$: la temperatura de la capa interna del cerramiento interior [°C].

θ_i : la temperatura del espacio interior. Se considerarán 20 °C.

R_T : la resistencia térmica total del componente constructivo [m² K/ W].

R_{si} : la resistencia térmica superficial correspondiente al aire interior [m² K/W].

c) **Temperatura de la pared interior del cerramiento:**

$$\theta_{si} = \theta_n + \frac{R_{si}}{R_T} (\theta_i - \theta_e)$$

Distribución de la presión de vapor

Se calculan las presiones de vapor interior y exterior como ya se ha descrito anteriormente. Las presiones de vapor de las capas interiores se calcularán a partir de las siguientes ecuaciones:

$$P_1 = P_e + \frac{S_{d1}}{\sum S_{dn}} (P_i - P_e)$$

$$P_2 = P_1 + \frac{S_{d2}}{\sum S_{dn}} (P_i - P_e)$$

donde

P_i: Presión vapor en el interior del edificio.

P_e: Presión de vapor del aire exterior.

P_n: Presión de vapor en la capa n.

S_{dn}: espesor(m) de aire equivalente de la capa n a la difusión del vapor de agua, según la siguiente expresión:

$$S_{dn} = e_n \times \mu_n$$

donde

μ_n: factor de resistencia a la difusión del vapor de agua. Se obtiene generalmente del catálogo de materiales.

e_n: espesor de la capa en m.

Comparación de las presiones de vapor:

Una vez obtenidas las presiones de saturación de vapor y las presiones parciales que corresponden a cada capa, se debe verificar que la siguiente relación no se cumple para afirmar que no existe riesgo de aparición de condensaciones:

$$P_{vapor} > P_{sat}$$

donde

P_{vapor}: presión vapor del aire intersticial en cada capa.

P_{sat}: presión de saturación del aire en la capa correspondiente.

La comparación se realizará capa a capa.

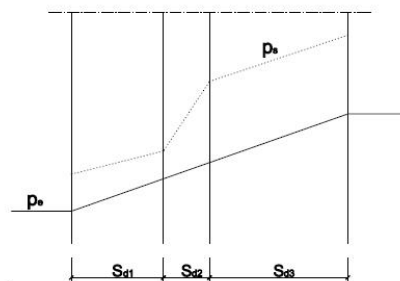


Figura G.1 Distribución de presiones de vapor de saturación y presiones de vapor en un elemento multicapa del edificio dibujada frente a la resistencia a presión de vapor de cada capa.