



Transmisión de Calor y Masa en las Envolventes

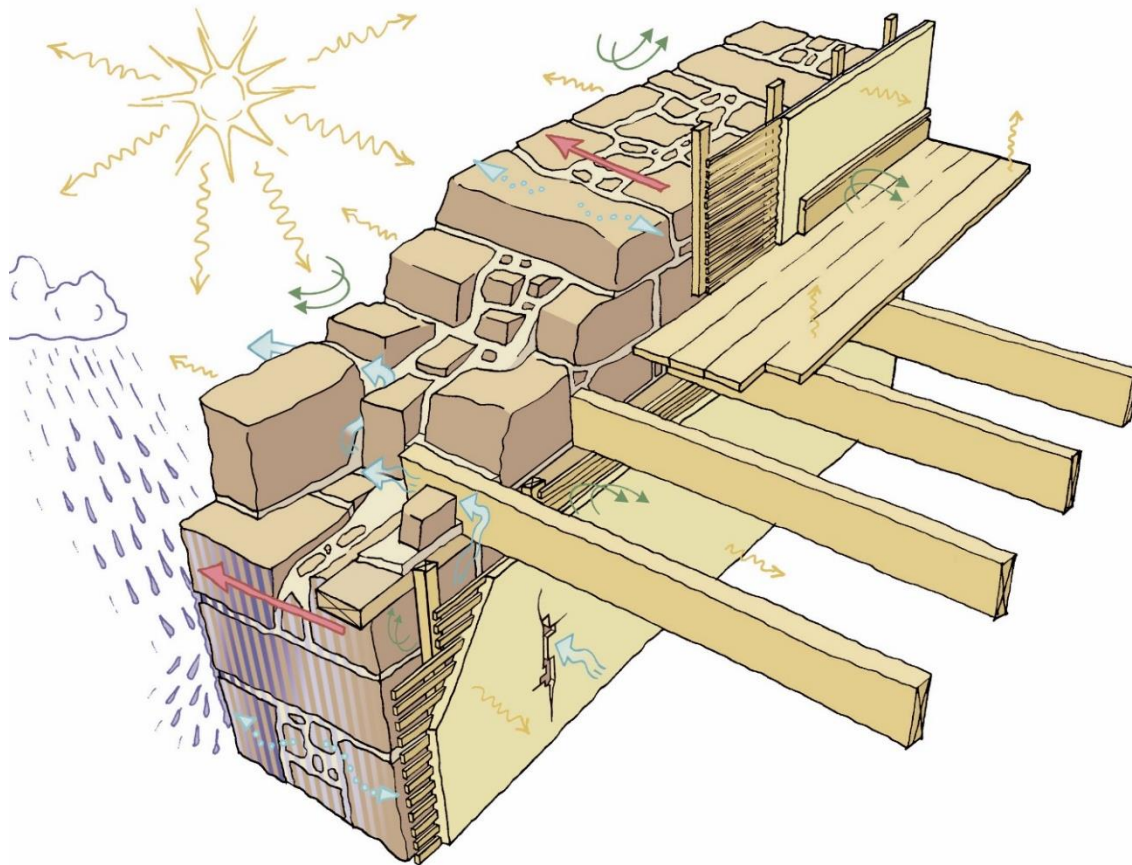
Sesión 3: 7 de Mayo de 2019, Mañana

- Transporte de calor y humedad
 - Introducción a los fundamentos físicos
 - Normativa Técnica
- Condensaciones superficiales
 - Factor de temperatura
 - Aplicación: Requisitos para Burgos
- Condensaciones intersticiales
 - Método de Glaser
 - Aplicación: Ejemplo de cálculo
- Límites de aplicación

Beñat Arregi Goikolea
Tecnalia, División Building Technologies
benat.arregi@tecnalia.com
+34 610 742 971



Mecanismos de transporte



Transferencia de calor



por conducción



por convección



por radiación

Transferencia de humedad



por difusión
(vapor)



por convección
(vapor)



por capilaridad
(agua)



Mecanismos de transporte

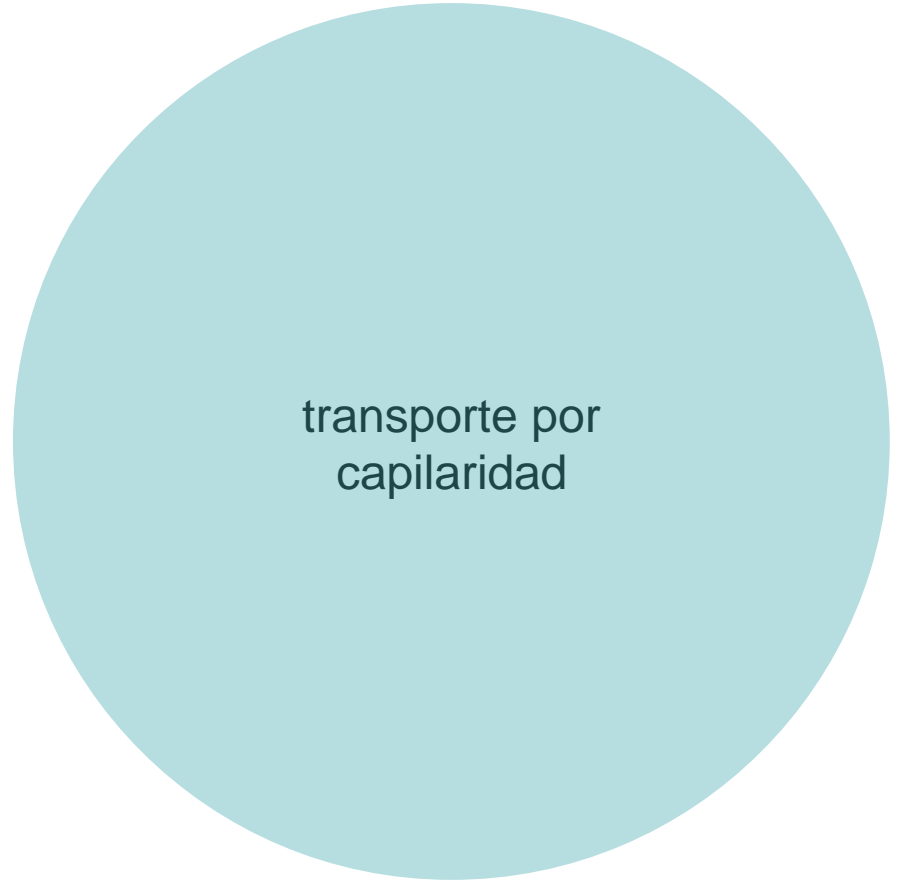
difusión
de vapor



convección
de vapor



transporte por
capilaridad





Marco normativo: CTE

Artículo 13. Exigencias básicas de salubridad (HS)

13.1 Exigencia básica HS 1: Protección frente a la humedad

Se limitará el *riesgo* previsible de presencia inadecuada de agua o humedad en el interior de los edificios y en sus *cerramientos* como consecuencia del agua procedente de precipitaciones atmosféricas, de escorrentías, del terreno o de condensaciones, disponiendo medios que impidan su penetración o, en su caso permitan su evacuación sin producción de daños.



CTE DB HS 1

1 Generalidades

1.1 Ámbito de aplicación

- 1 Esta sección se aplica a los muros y los suelos que están en contacto con el terreno y a los cerramientos que están en contacto con el aire exterior (fachadas y cubiertas) de todos los edificios incluidos en el ámbito de aplicación general del CTE. Los *suelos elevados* se consideran suelos que están en contacto con el terreno. Las medianerías que vayan a quedar descubiertas porque no se ha edificado en los solares colindantes o porque la superficie de las mismas excede a las de las colindantes se consideran fachadas. Los suelos de las terrazas y los de los balcones se consideran cubiertas.

Humedades por filtración de agua:
DB HS 1 (Salubridad)

- 2 La comprobación de la limitación de humedades de condensación superficiales e intersticiales debe realizarse según lo establecido en la Sección HE-1 Limitación de la demanda energética del DB HE Ahorro de energía.

Humedades por condensación:
DA DB-HE / 2 (Ahorro de energía)



Marco normativo

	Condensaciones (vapor)		Filtraciones (agua de lluvia)
	superficiales	intersticiales	
CTE Métodos de verificación		Barrera de vapor	Tablas en CTE DB HS 1
CTE Métodos de análisis	Factor de temperatura DA DB-HE / 2 (4.1)	Método de Glaser DA DB-HE / 2 (4.2)	
UNE-EN Métodos de análisis	Factor de temperatura UNE-EN ISO 13788	Método de Glaser UNE-EN ISO 13788	
	Simulación numérica UNE-EN 15026		



CTE DB HS Salubridad

Sección HS 1 Protección frente a la humedad

1 Generalidades

- 1.1 Ámbito de aplicación
- 1.2 Procedimiento de verificación

2 Diseño

- 2.1 Muros
- 2.2 Suelos
- 2.3 Fachadas
- 2.4 Cubiertas

3 Dimensionado

- 3.1 Tubos de drenaje
- 3.2 Canaletas de recogida
- 3.3 Bombas de achique

4 Productos de Construcción

- 4.1 Características exigibles a los productos
- 4.2 Control de recepción en obra de productos

5 Construcción

- 5.1 Ejecución
- 5.2 Control de la ejecución
- 5.3 Control de la obra terminada

6 Mantenimiento y Conservación

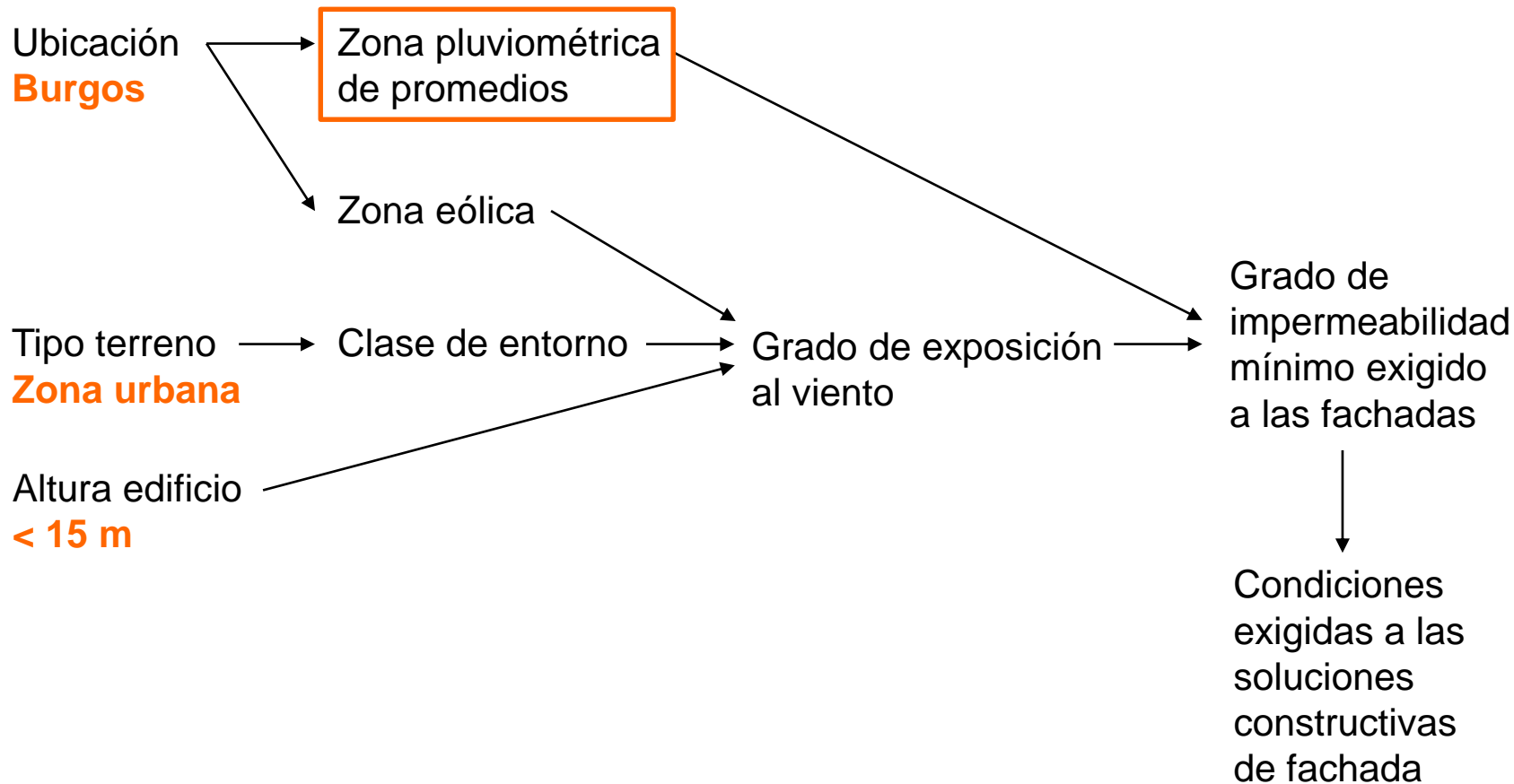
Apéndice A Terminología

Apéndice B Notación

Apéndice C Cálculo del caudal de drenaje



CTE DB HS 1





CTE DB HS 1

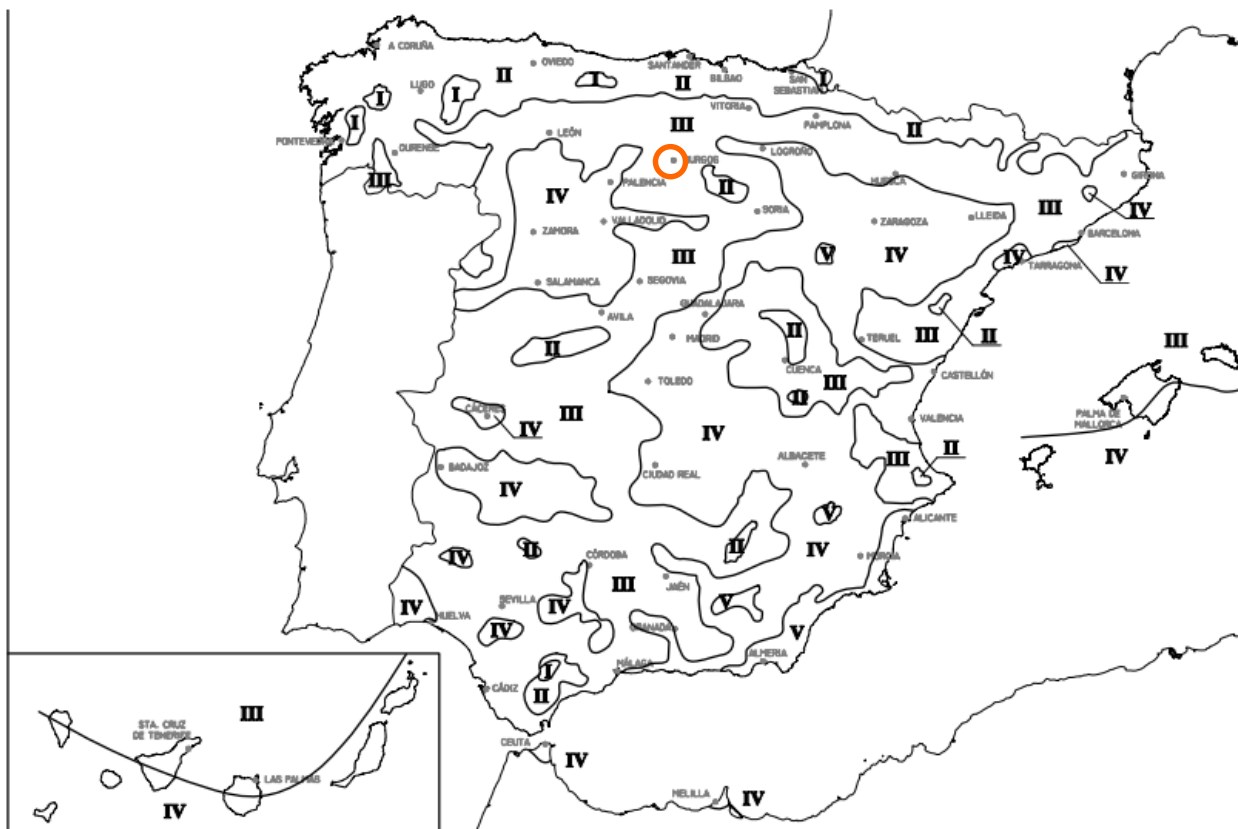
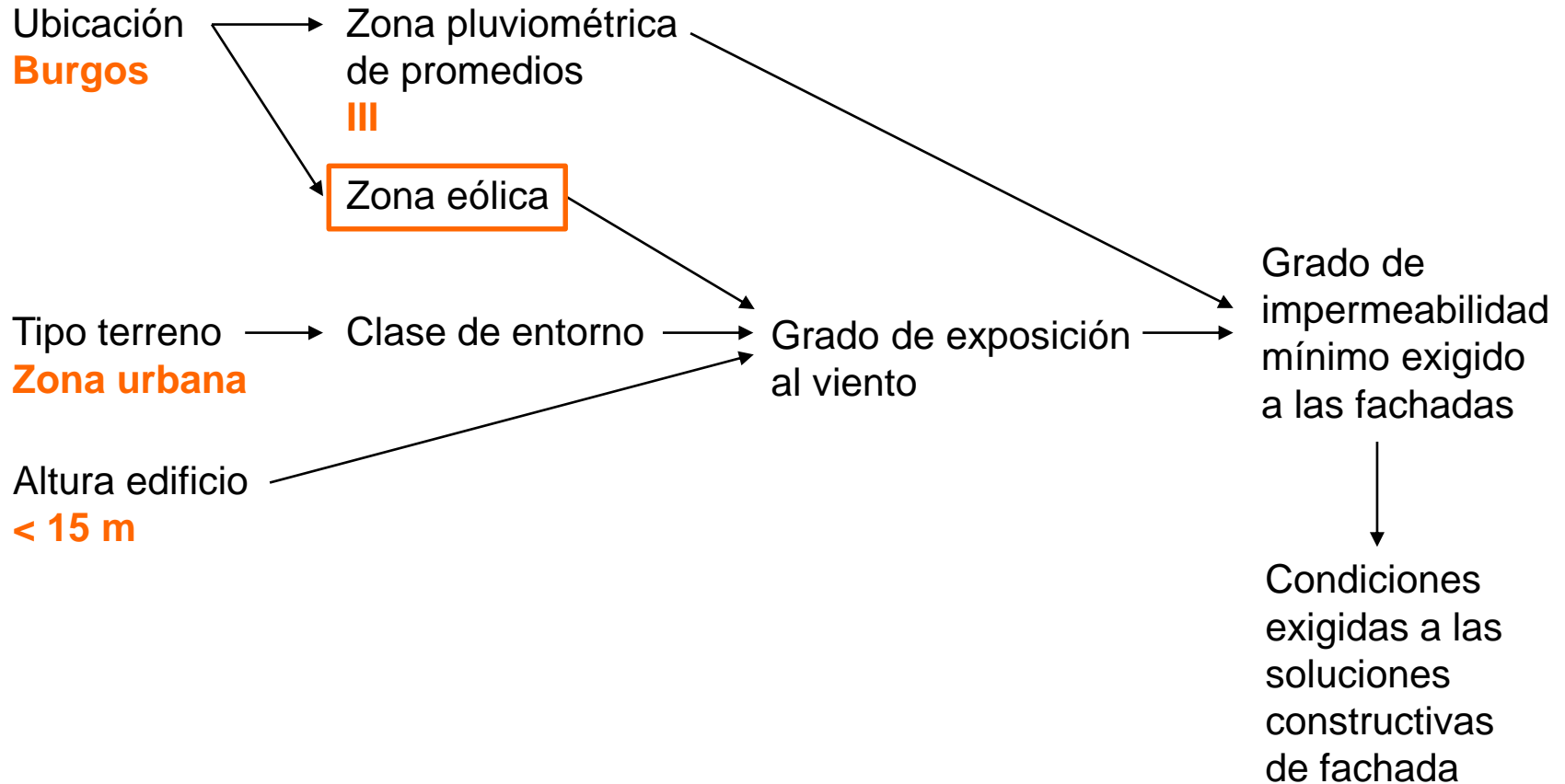


Figura 2.4 Zonas pluviométricas de promedios en función del índice pluviométrico anual



CTE DB HS 1





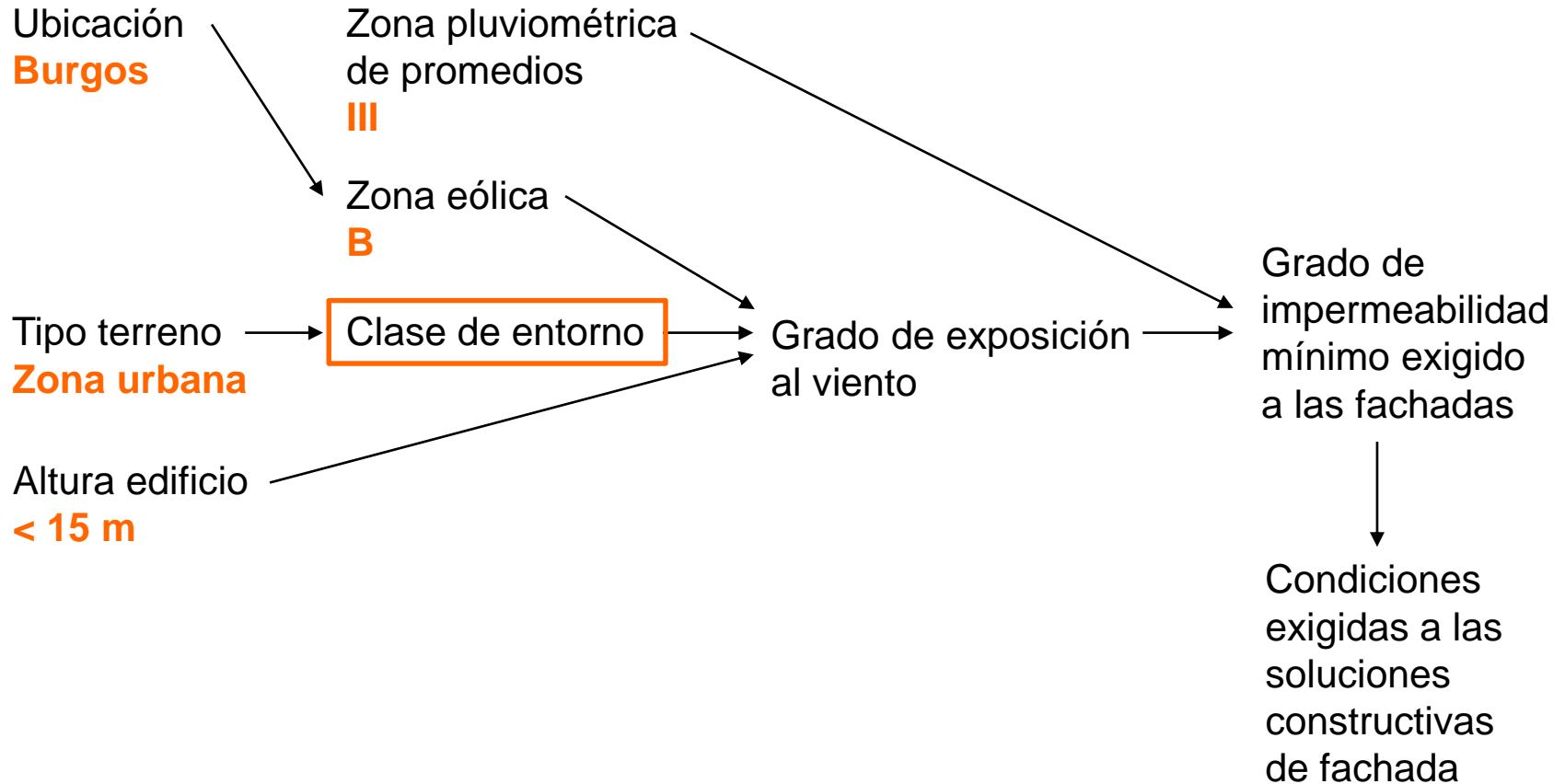
CTE DB HS 1



Figura 2.5 Zonas eólicas



CTE DB HS 1





CTE DB HS 1

Zona eólica

Terreno tipo I: Borde del mar o de un lago con una zona despejada de agua en la dirección del viento de una extensión mínima de 5 km.

E0

Terreno tipo II: Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia.

Terreno tipo III: Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados tales como árboles o construcciones pequeñas.

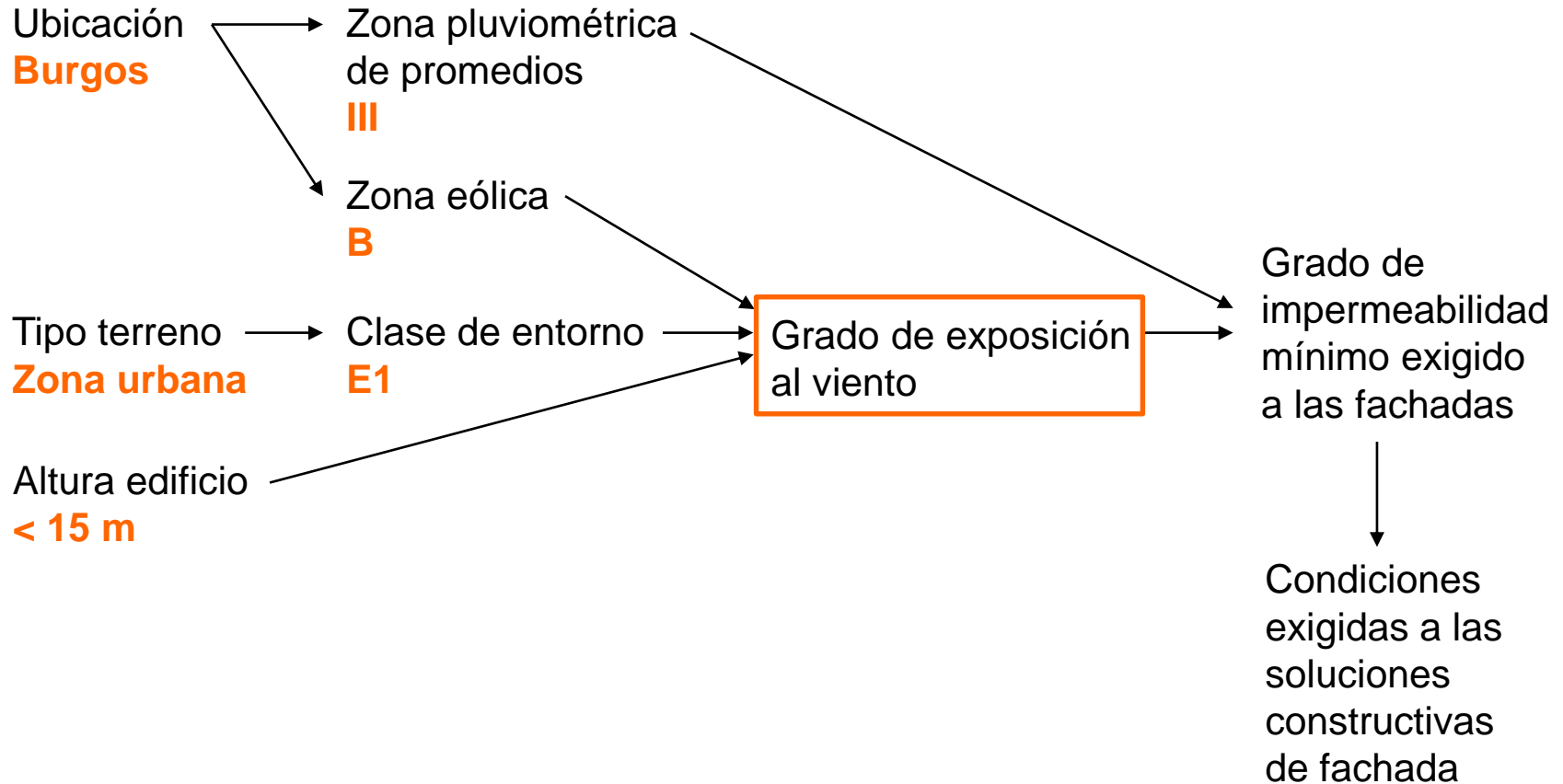
E1

Terreno tipo IV: Zona urbana, industrial o forestal.

Terreno tipo V: Centros de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura.



CTE DB HS 1





CTE DB HS 1

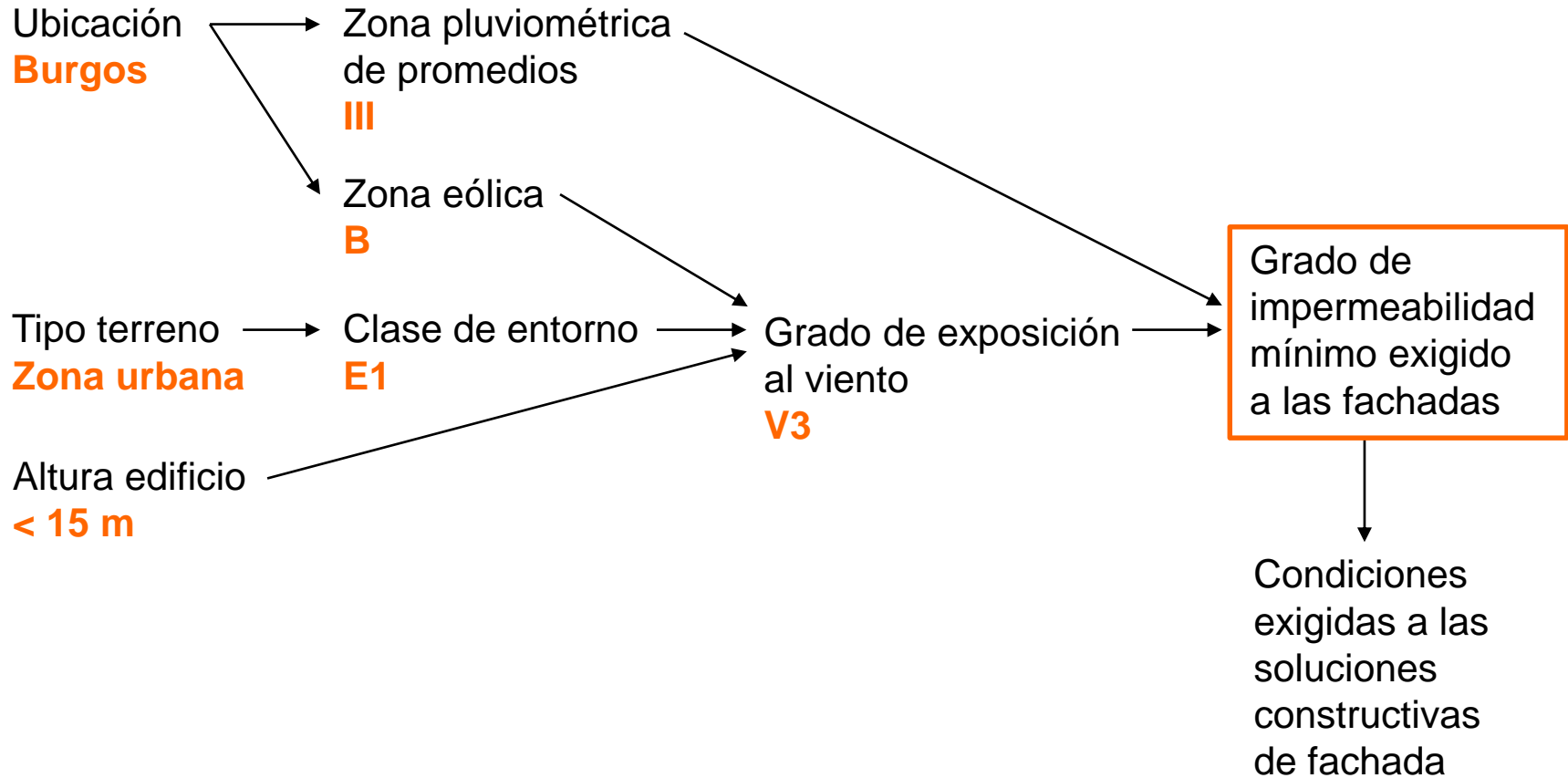
Tabla 2.6 Grado de exposición al viento

		Clase del entorno del edificio					
		E1			E0		
		Zona eólica			Zona eólica		
		A	B	C	A	B	C
Altura del edificio en m	≤15	V3	V3	V3	V2	V2	V2
	16 - 40	V3	V2	V2	V2	V2	V1
	41 – 100 ⁽¹⁾	V2	V2	V2	V1	V1	V1

⁽¹⁾ Para edificios de más de 100 m de altura y para aquellos que están próximos a un desnivel muy pronunciado, el grado de exposición al viento debe ser estudiada según lo dispuesto en el DB-SE-AE.



CTE DB HS 1





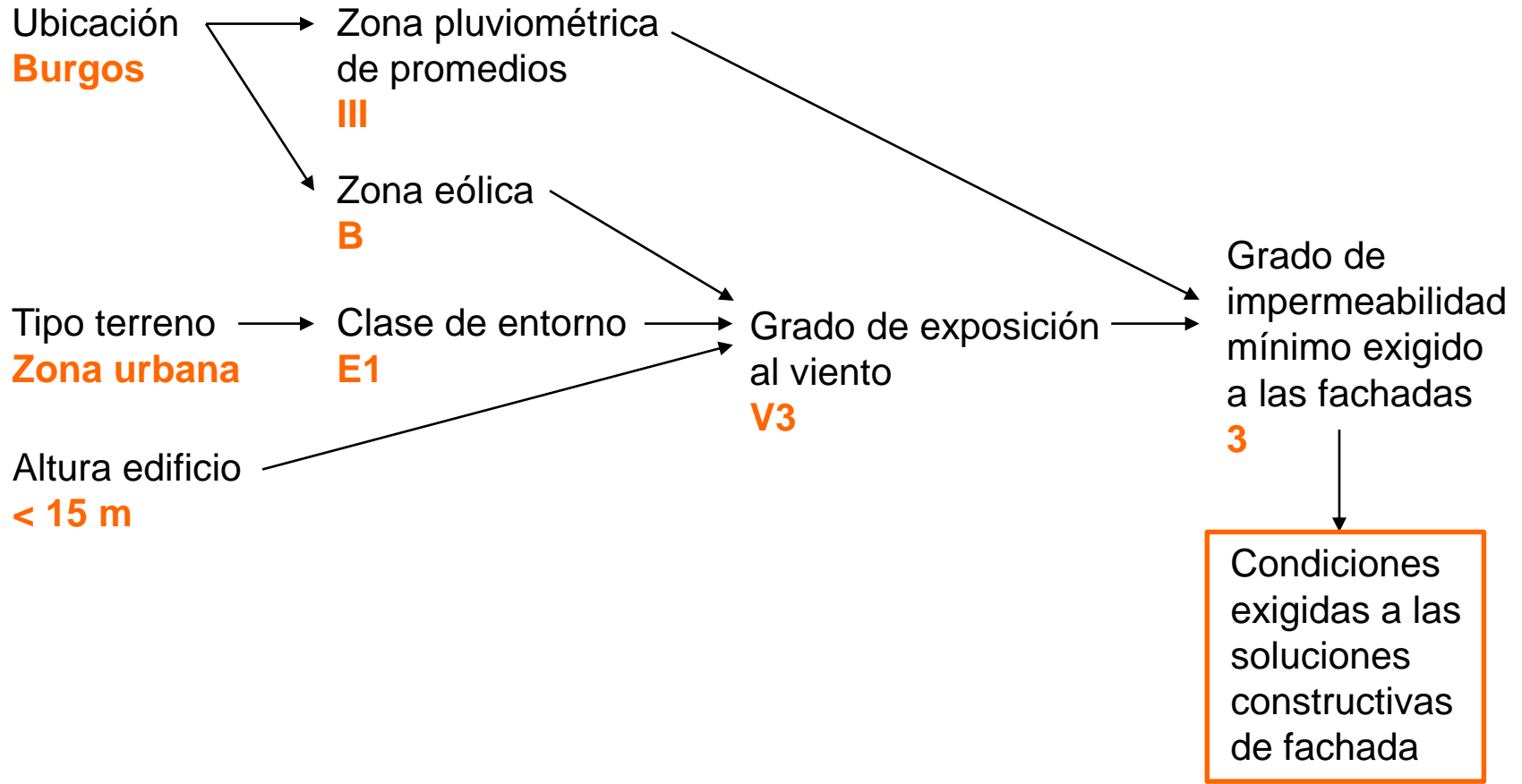
CTE DB HS 1

Tabla 2.5 *Grado de impermeabilidad* mínimo exigido a las fachadas

		<i>Zona pluviométrica de promedios</i>				
		I	II	III	IV	V
Grado de exposición al viento	V1	5	5	4	3	2
	V2	5	4	3	3	2
	V3	5	4	3	2	1



CTE DB HS 1





CTE DB HS 1

2.3.2 Condiciones de las soluciones constructivas

- 1 Las condiciones exigidas a cada *solución constructiva* en función de la existencia o no de *revestimiento exterior* y del *grado de impermeabilidad* se obtienen en la tabla 2.7. En algunos casos estas condiciones son únicas y en otros se presentan conjuntos optativos de condiciones.

Tabla 2.7 Condiciones de las soluciones de fachada

		Con revestimiento exterior	Sin revestimiento exterior
Grado de impermeabilidad	≤1	R1+C1 ⁽¹⁾	C1 ⁽¹⁾ +J1+N1
	≤2		B1+C1+J1+N1 C2+H1+J1+N1 C2+J2+N2 C1 ⁽¹⁾ +H1+J2+N2
	≤3	R1+B1+C1 R1+C2	B2+C1+J1+N1 B1+C2+H1+J1+N1 B1+C2+J2+N2 B1+C1+H1+J2+N2
	≤4	R1+B2+C1 R1+B1+C2 R2+C1 ⁽¹⁾	B2+C2+H1+J1+N1 B2+C2+J2+N2 B2+C1+H1+J2+N2
	≤5	R3+C1 B3+C1 R1+B2+C2 R2+B1+C1	B3+C1

d. ⁽¹⁾ Cuando la fachada sea de una sólo hoja, debe utilizarse C2.



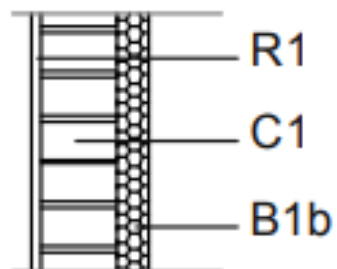
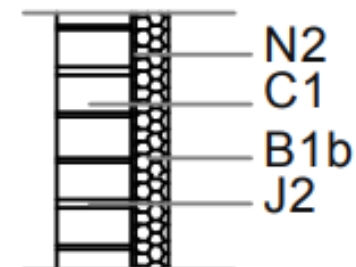
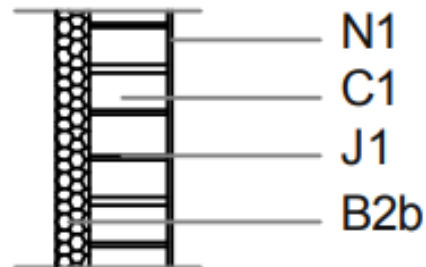
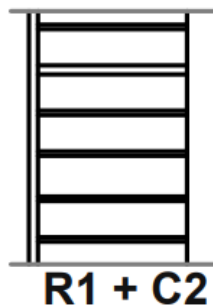
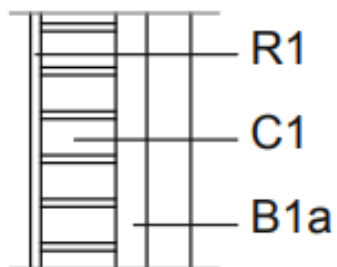
CTE DB HS 1

impermeabilidad	≤ 3	$R1+B1+C1$	$R1+C2$	$B2+C1+J1+N1$	$B1+C2+H1+J1+N1$	$B1+C2+J2+N2$	$B1+C1+H1+J2+N2$
				Resistencia a la filtración	Espesor	Higroscopicidad	
R	Revestimiento exterior			R3 muy alta R2 alta R1 media			
B	Barrera contra la filtración			B3 muy alta B2 alta B1 media			
C H N	Hoja principal			N2 alta N1 media (cara interior)	C2 alto C1 medio		H1 baja
J	Juntas			J2 alta J1 media			



CTE DB HS 1

impermeo	≤ 3	R1+B1+C1	R1+C2	B2+C1+J1+N1	B1+C2+H1+J1+N1	B1+C2+J2+N2	B1+C1+H1+J2+N2



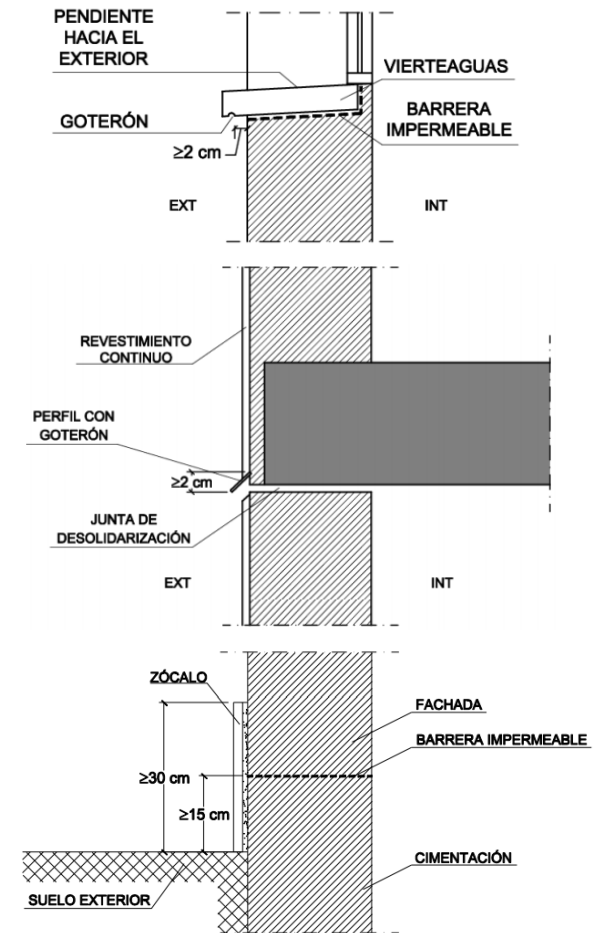


CTE DB HS 1

Puntos singulares:

(se pretende limitar la filtración de agua)

- Juntas de dilatación
- Arranque de fachada desde cimentación
- Encuentros con forjados
- Encuentros con pilares
- Encuentros con cámara de aire
- Encuentros con carpintería
- Antepechos y remates superiores
- Anclajes
- Aleros y cornisas





Marco normativo

	Condensaciones (vapor)		Filtraciones (agua de lluvia)
	superficiales	intersticiales	
CTE Métodos de verificación		Barrera de vapor	Tablas en CTE DB HS 1
CTE Métodos de análisis	Factor de temperatura DA DB-HE / 2 (4.1)	Método de Glaser DA DB-HE / 2 (4.2)	
UNE-EN Métodos de análisis	Factor de temperatura UNE-EN ISO 13788	Método de Glaser UNE-EN ISO 13788	
	Simulación numérica UNE-EN 15026		



Diagrama psicrométrico

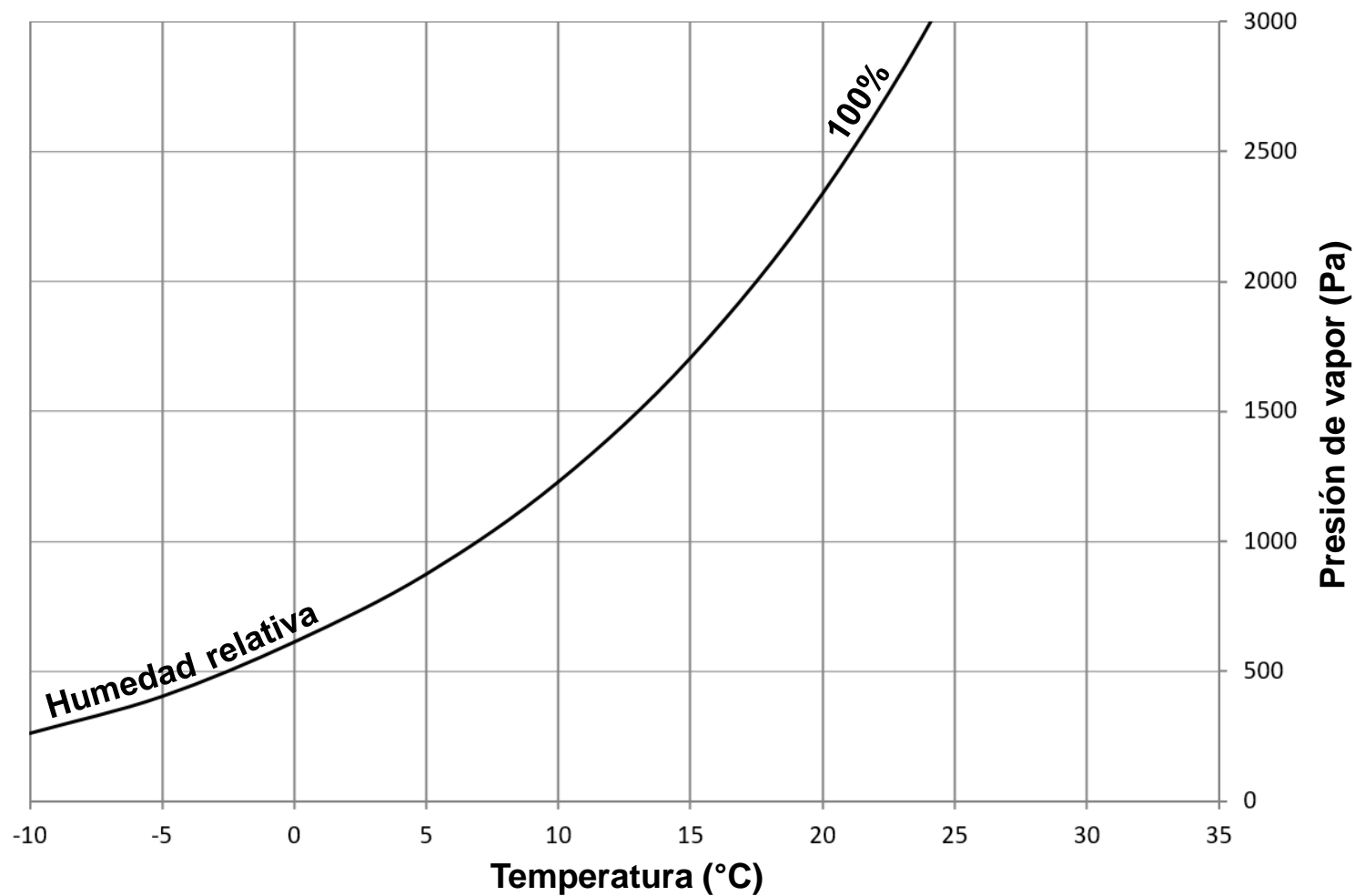




Diagrama psicrométrico

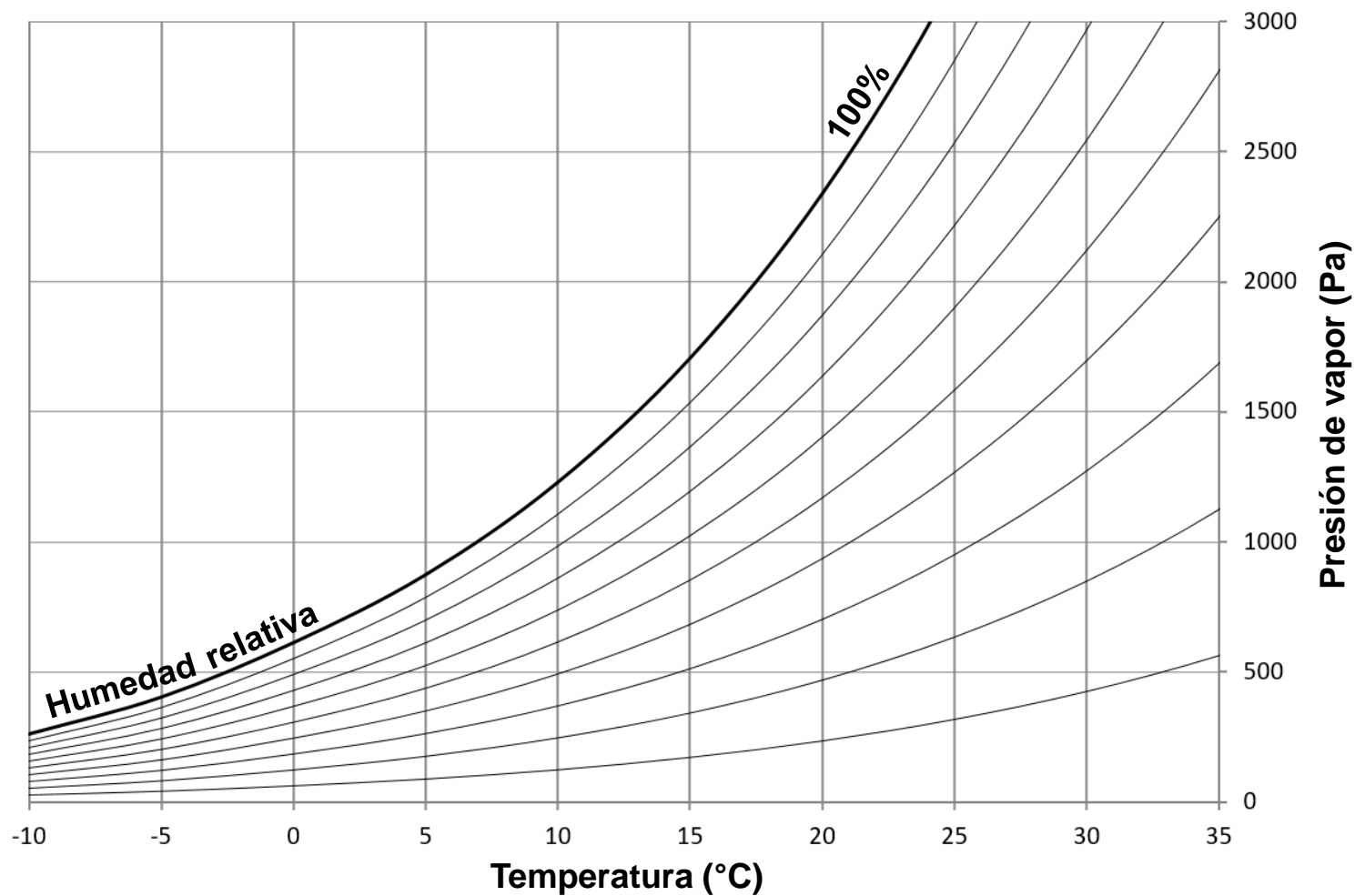
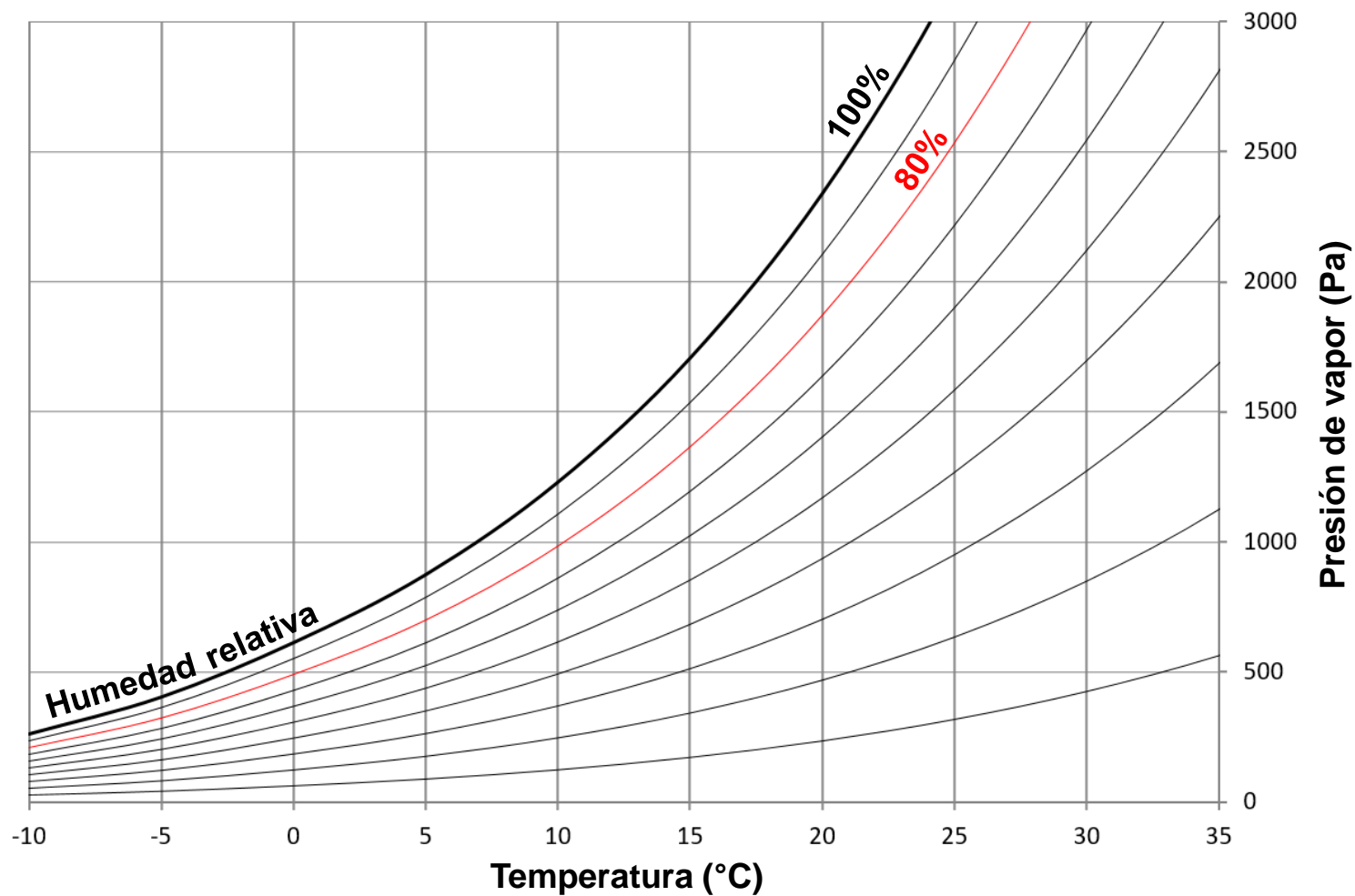




Diagrama psicrométrico





Humedad relativa y calidad del aire

Zona saludable

Zona de riesgo

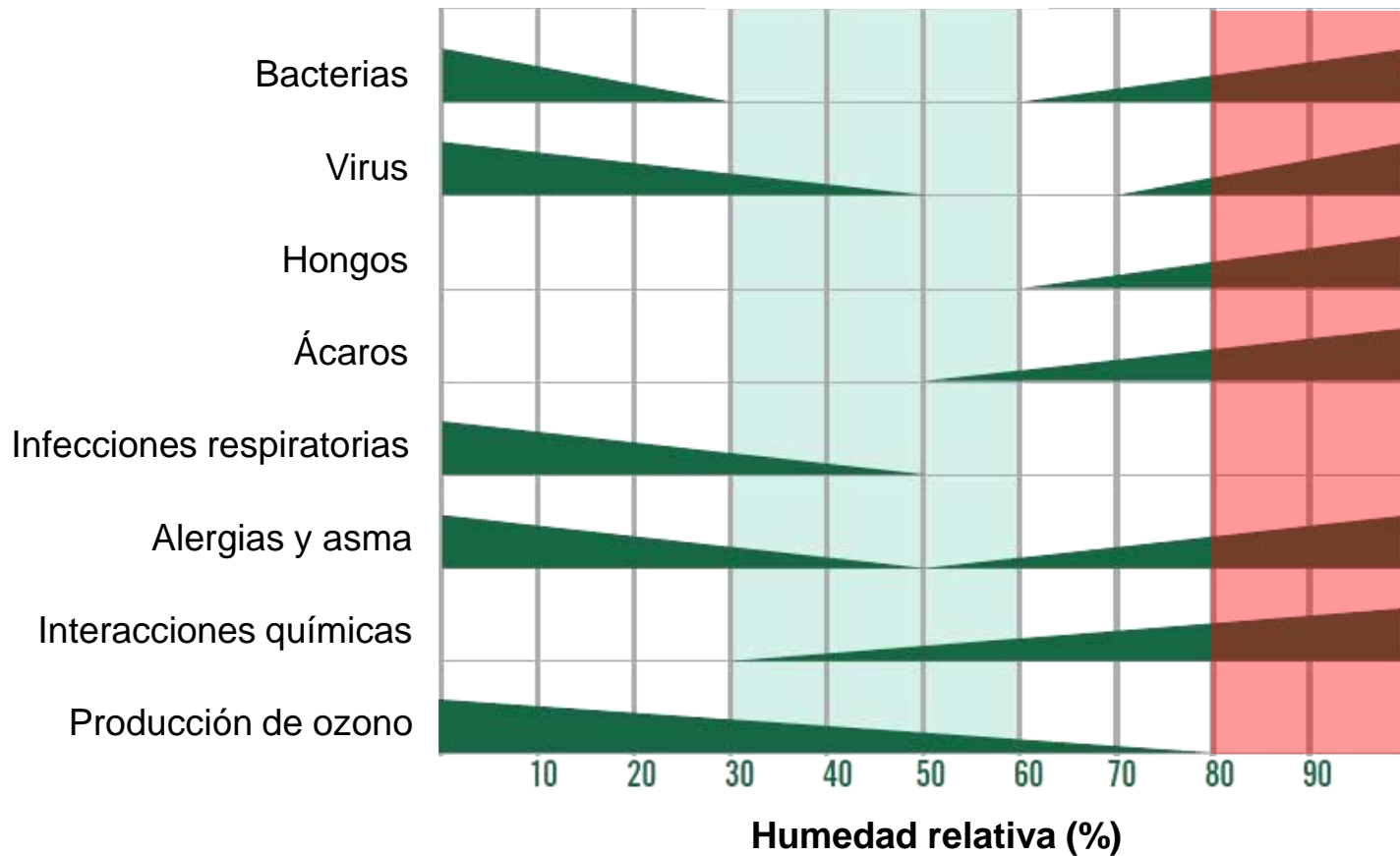


Diagrama de Sterling (1986)



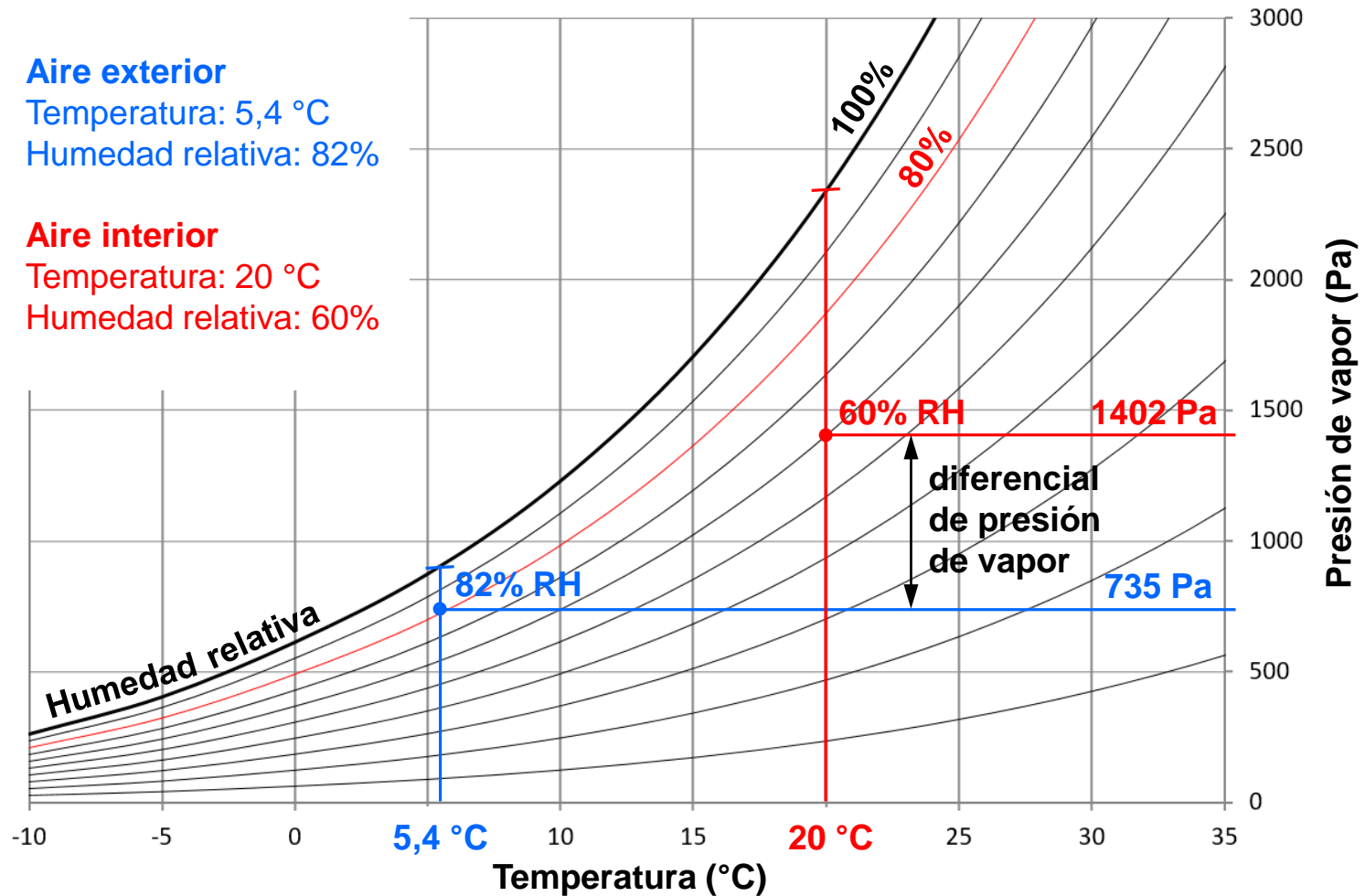
Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C
Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C
Humedad relativa: 60%





El factor de temperatura

Se utiliza para evaluar el riesgo de condensaciones superficiales y mohos.

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

Es un factor adimensional.

Indica la temperatura superficial interior en una escala de 0 (temp. exterior) a 1 (temp. interior).

Su valor no depende de las temperaturas de contorno.

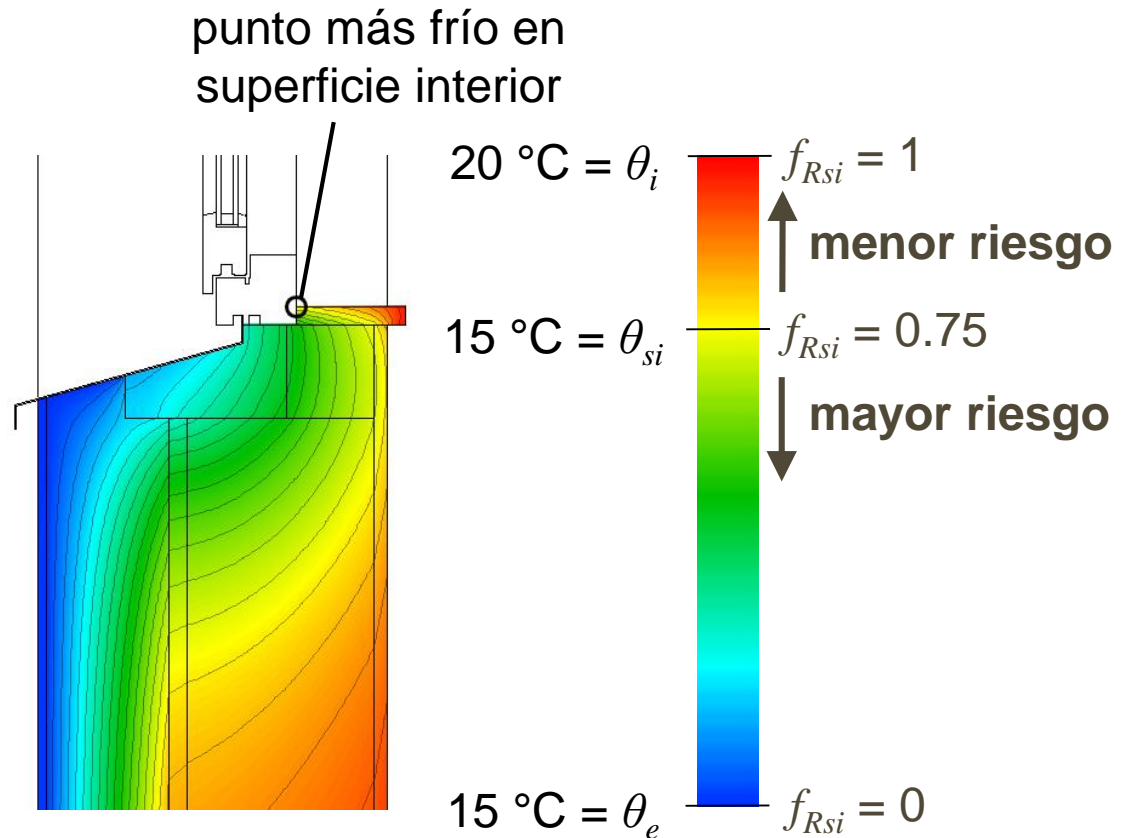




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C
Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C
Humedad relativa: 60%

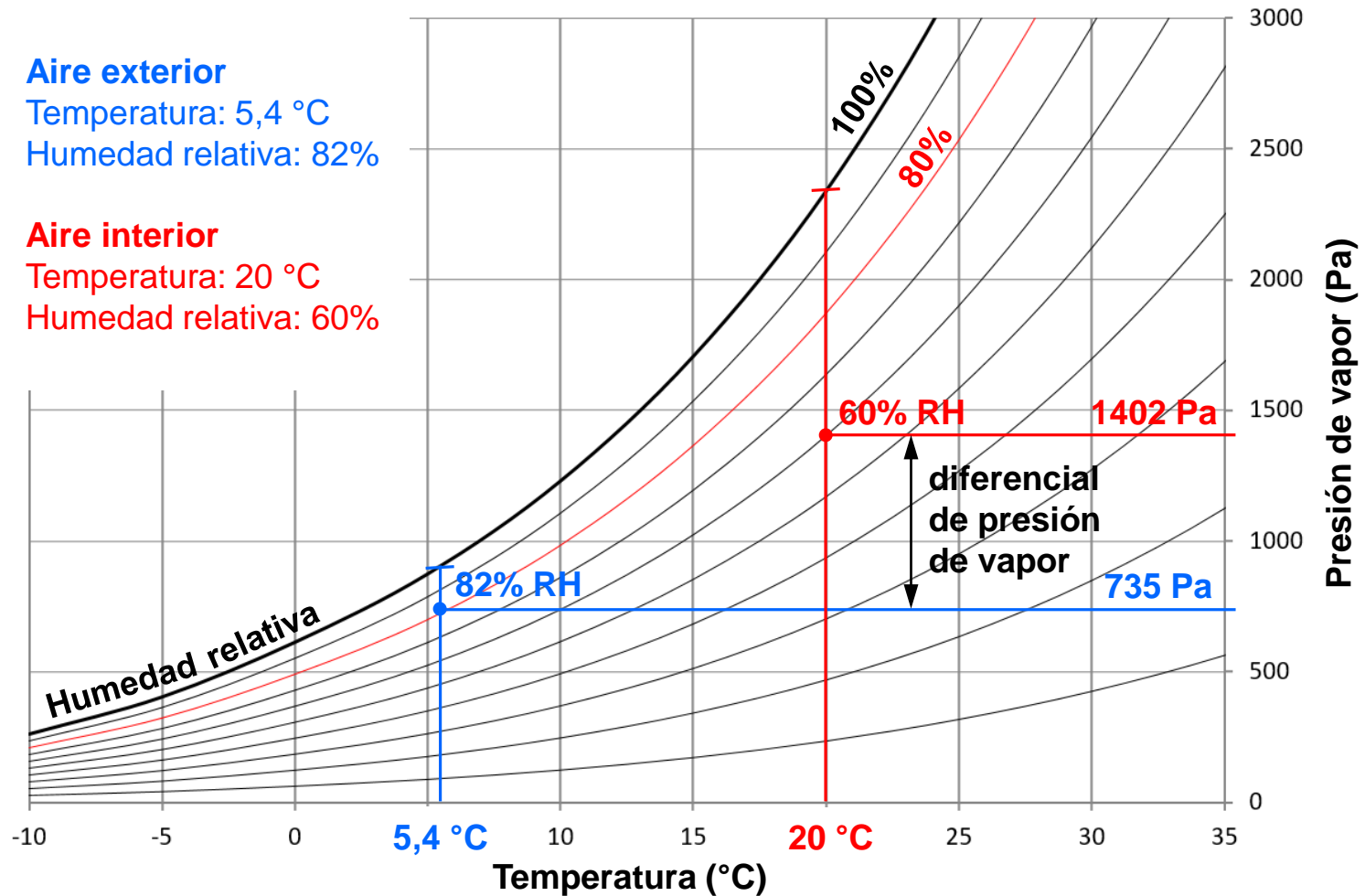




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C
Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C
Humedad relativa: 60%

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

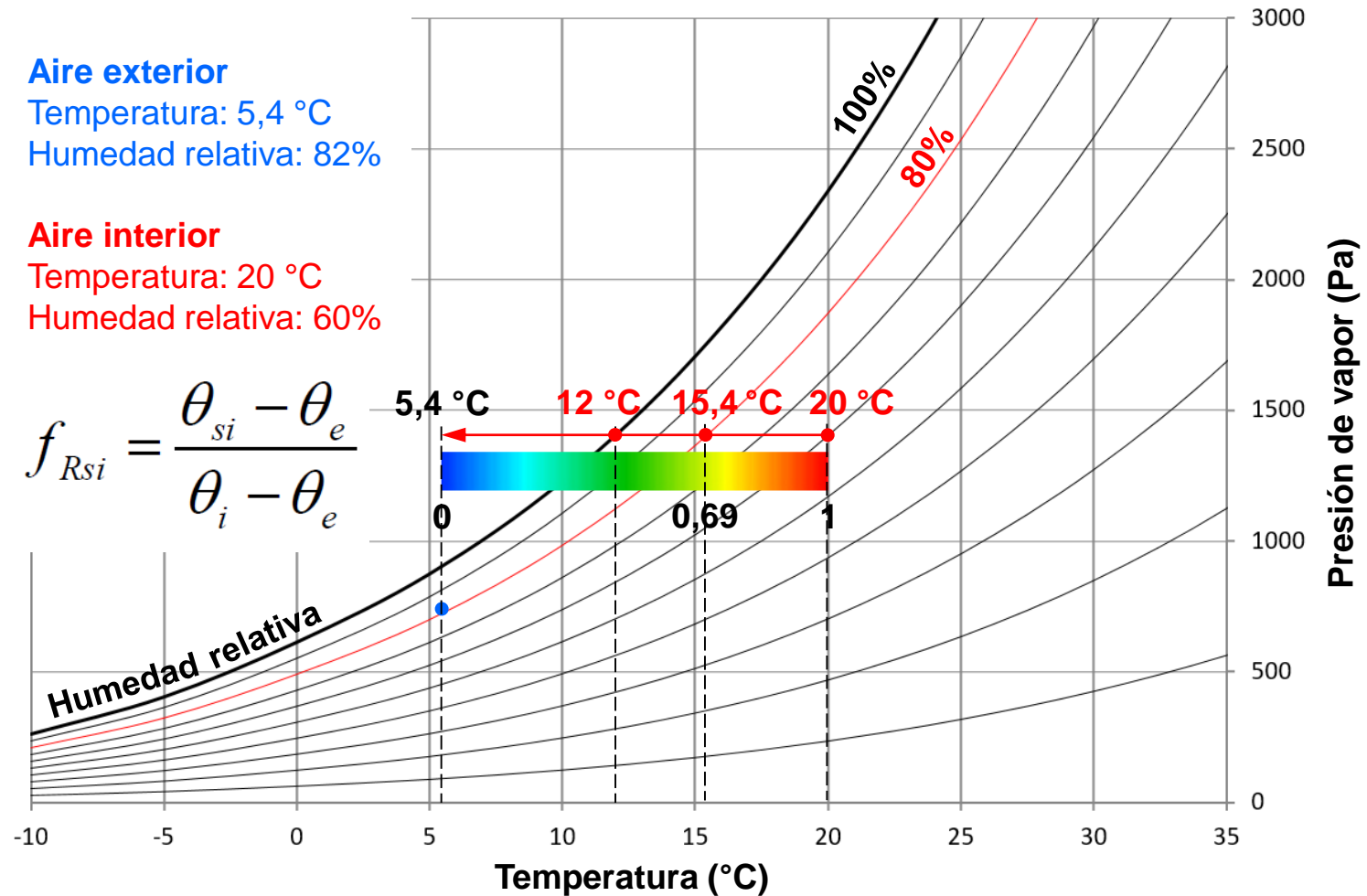




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 60%

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

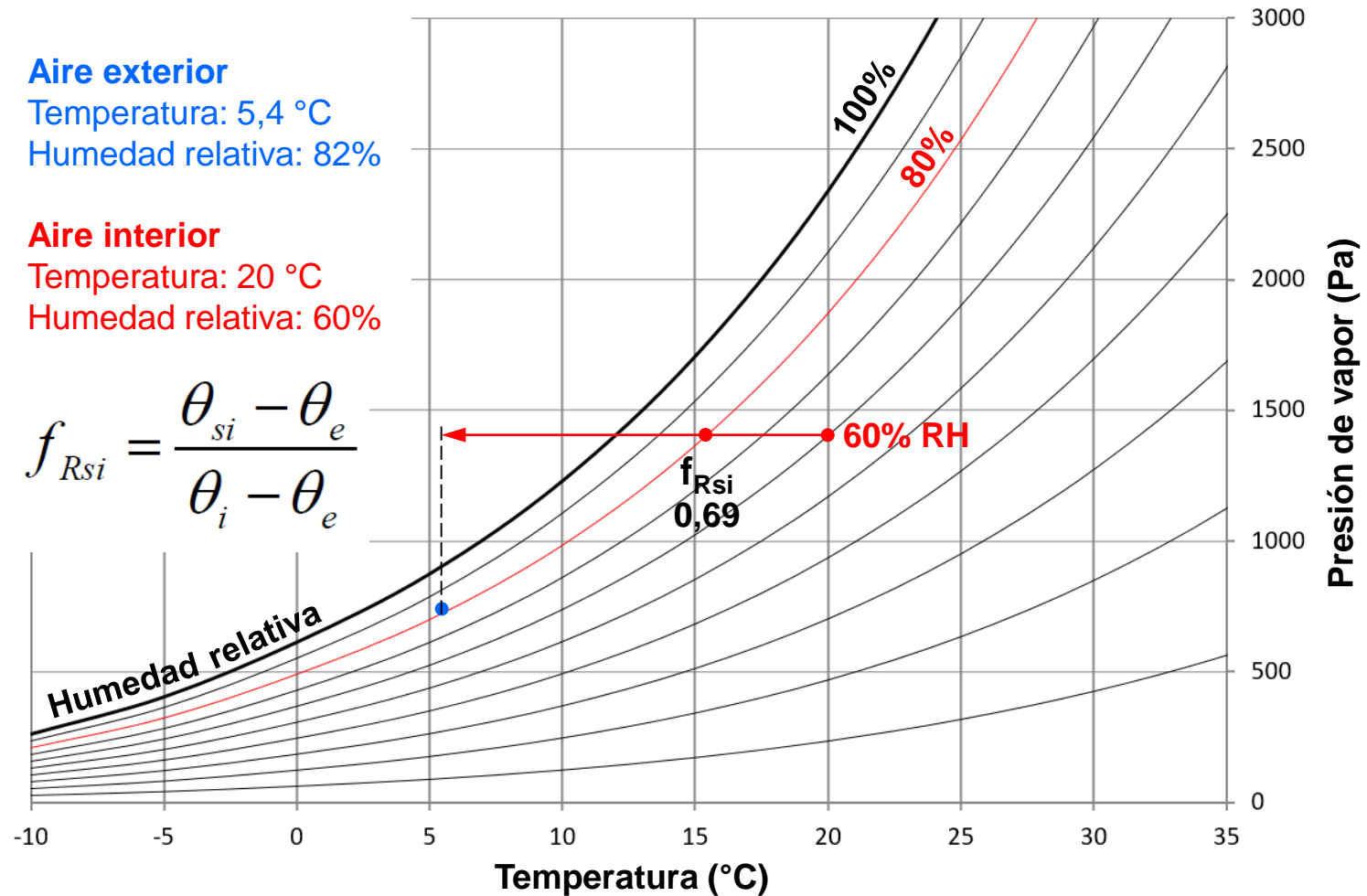




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 70%

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

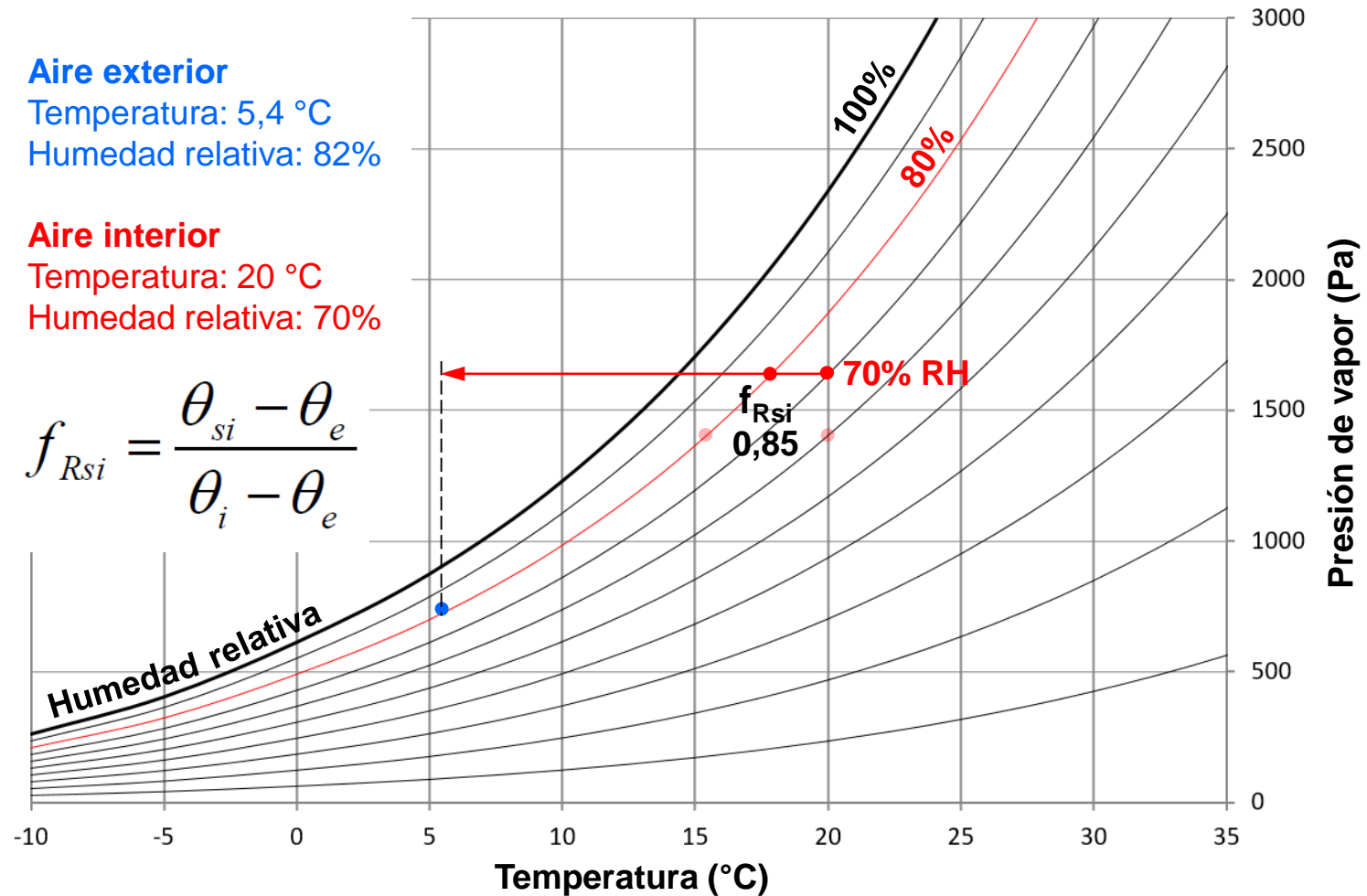




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 60%

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

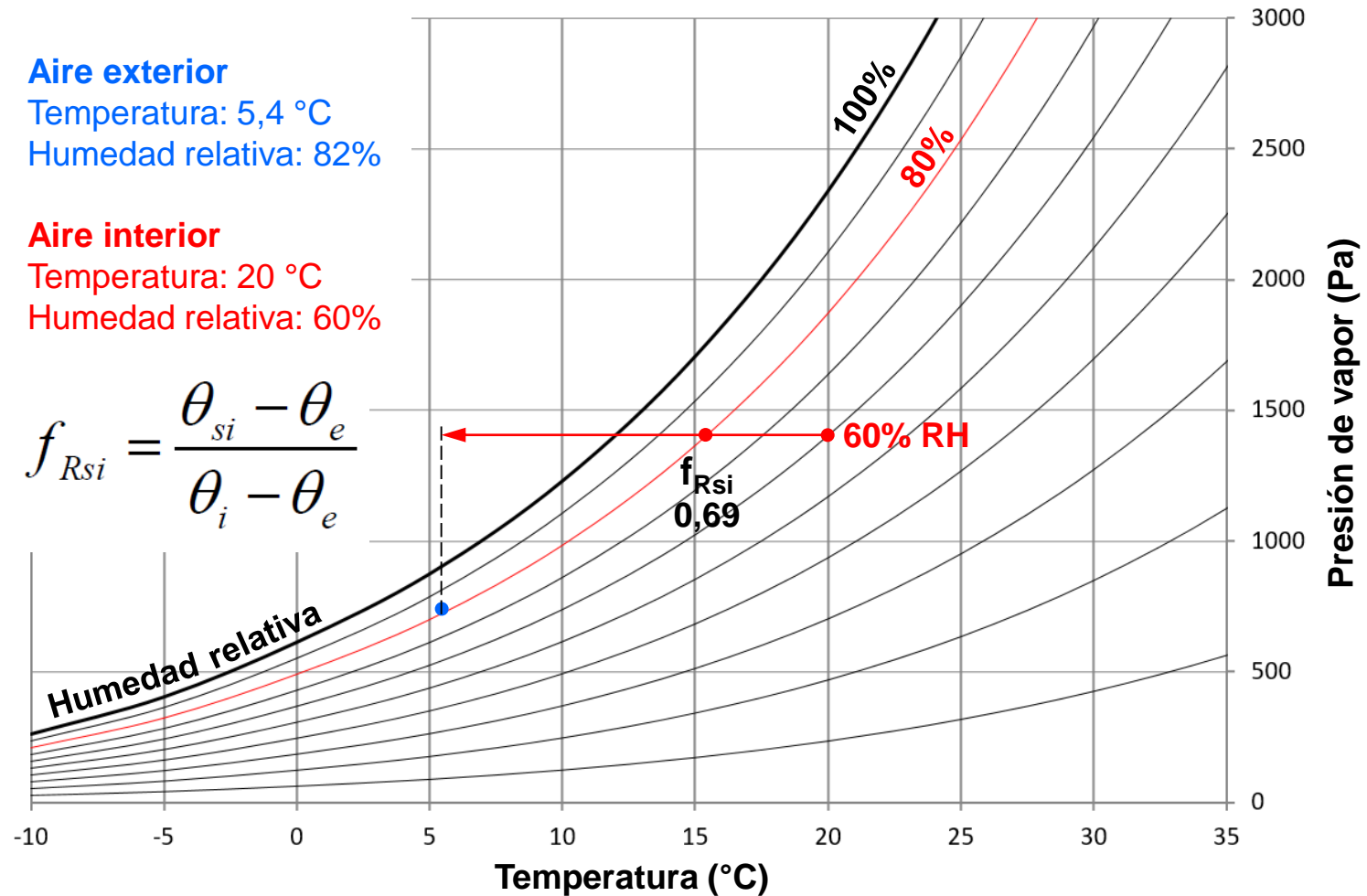




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 50%

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

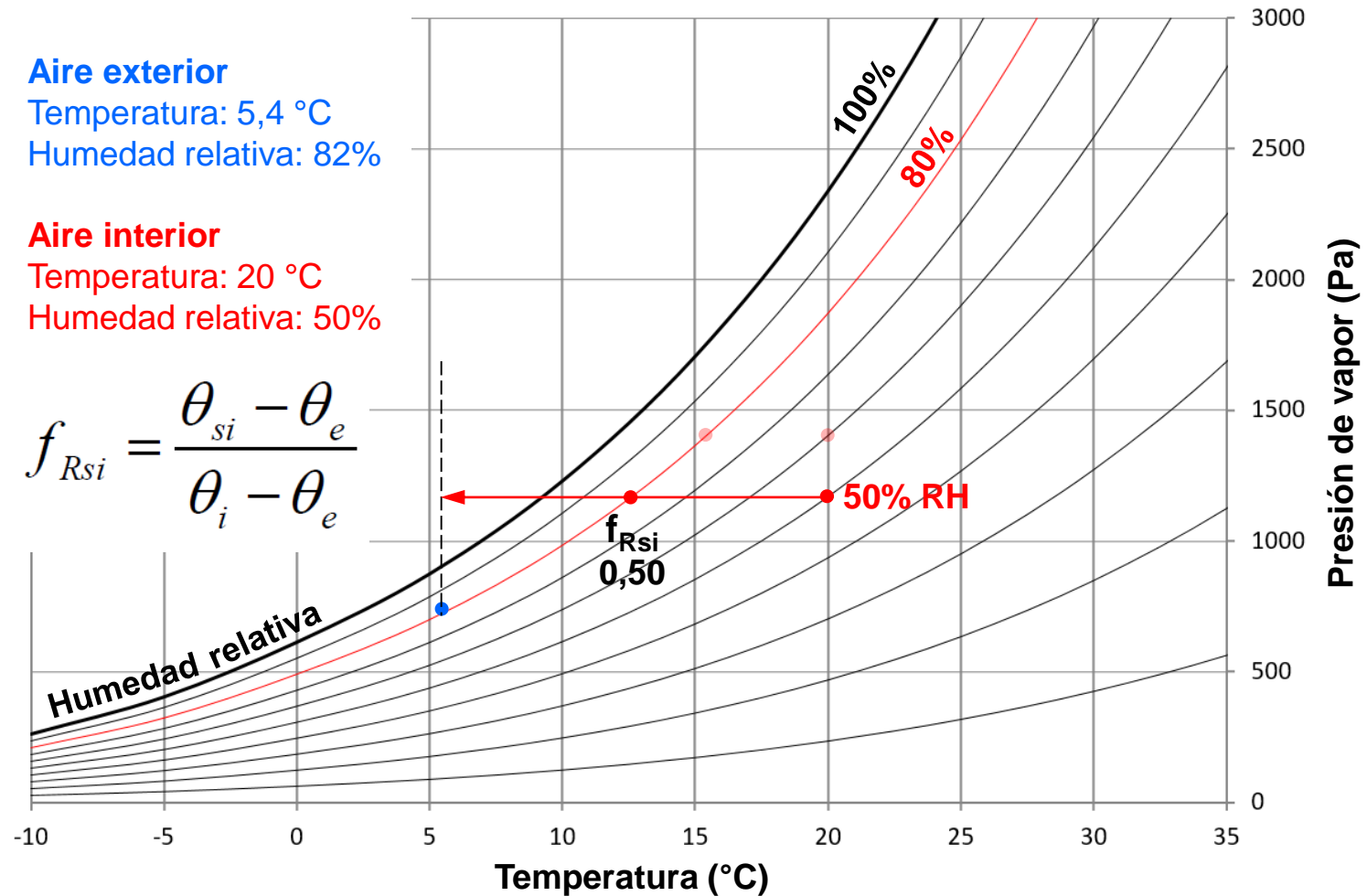




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 60%

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

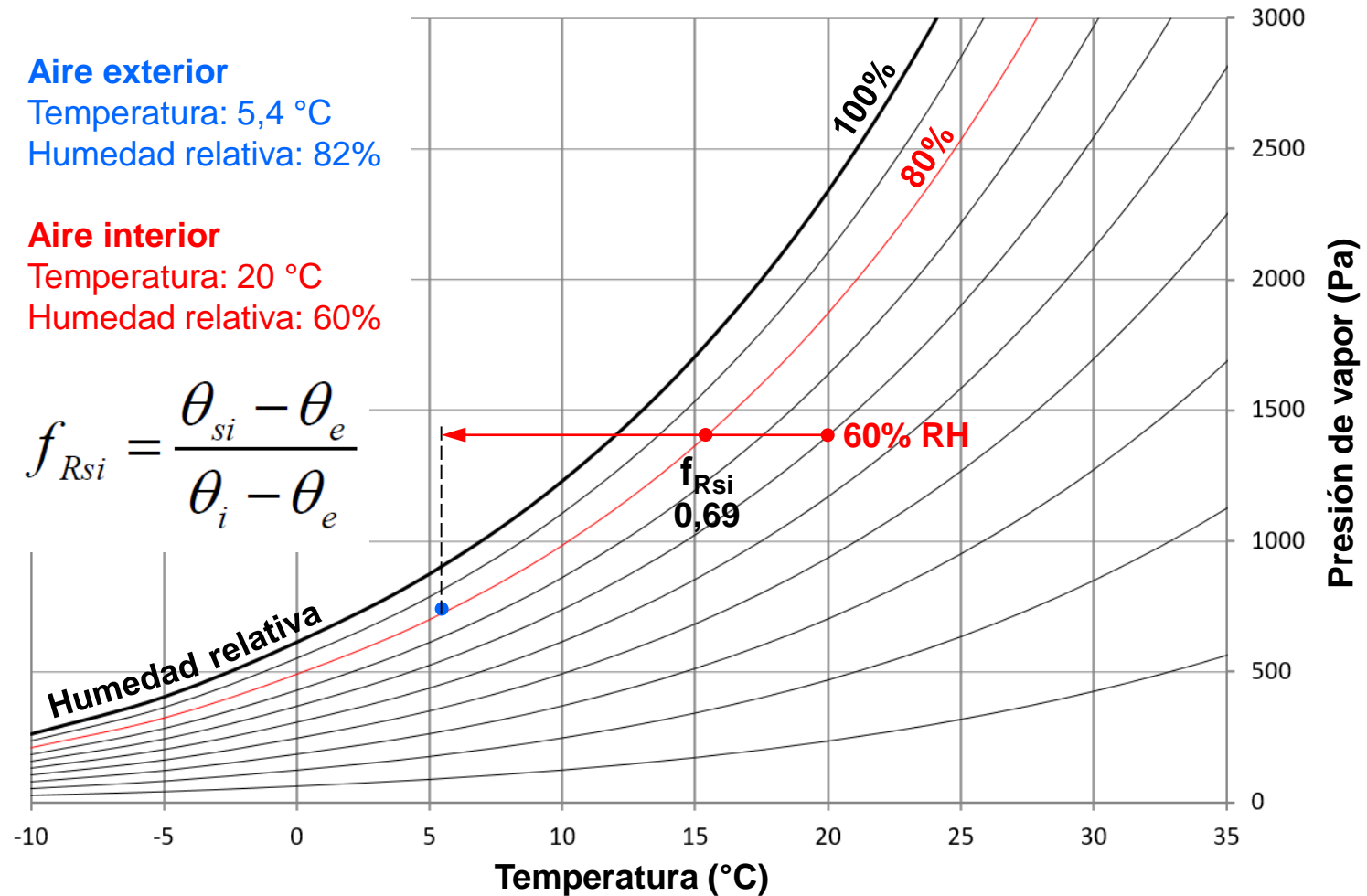




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C
Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C
Humedad relativa: 60%

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

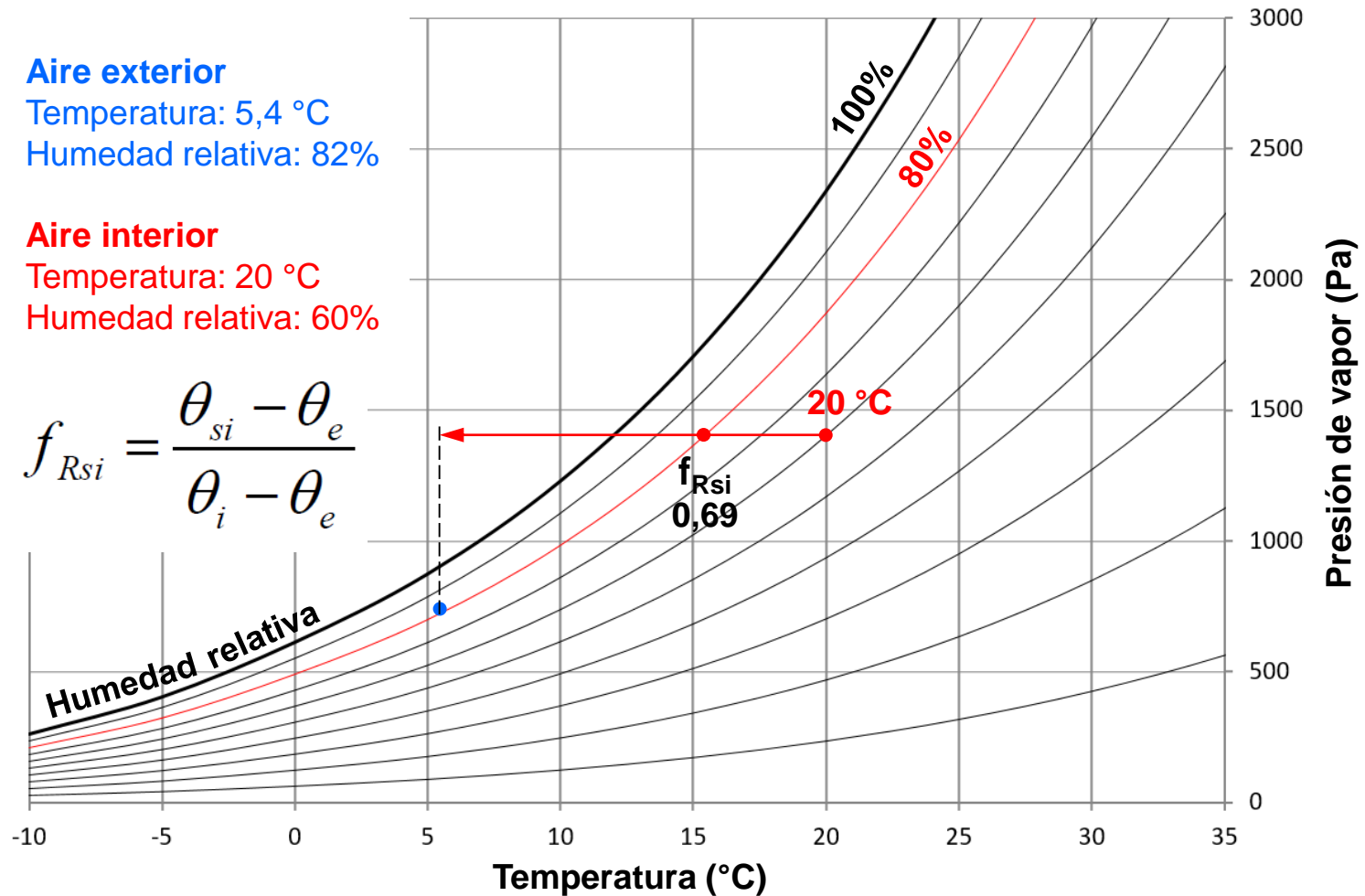




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C
Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C
Humedad relativa: 60%

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

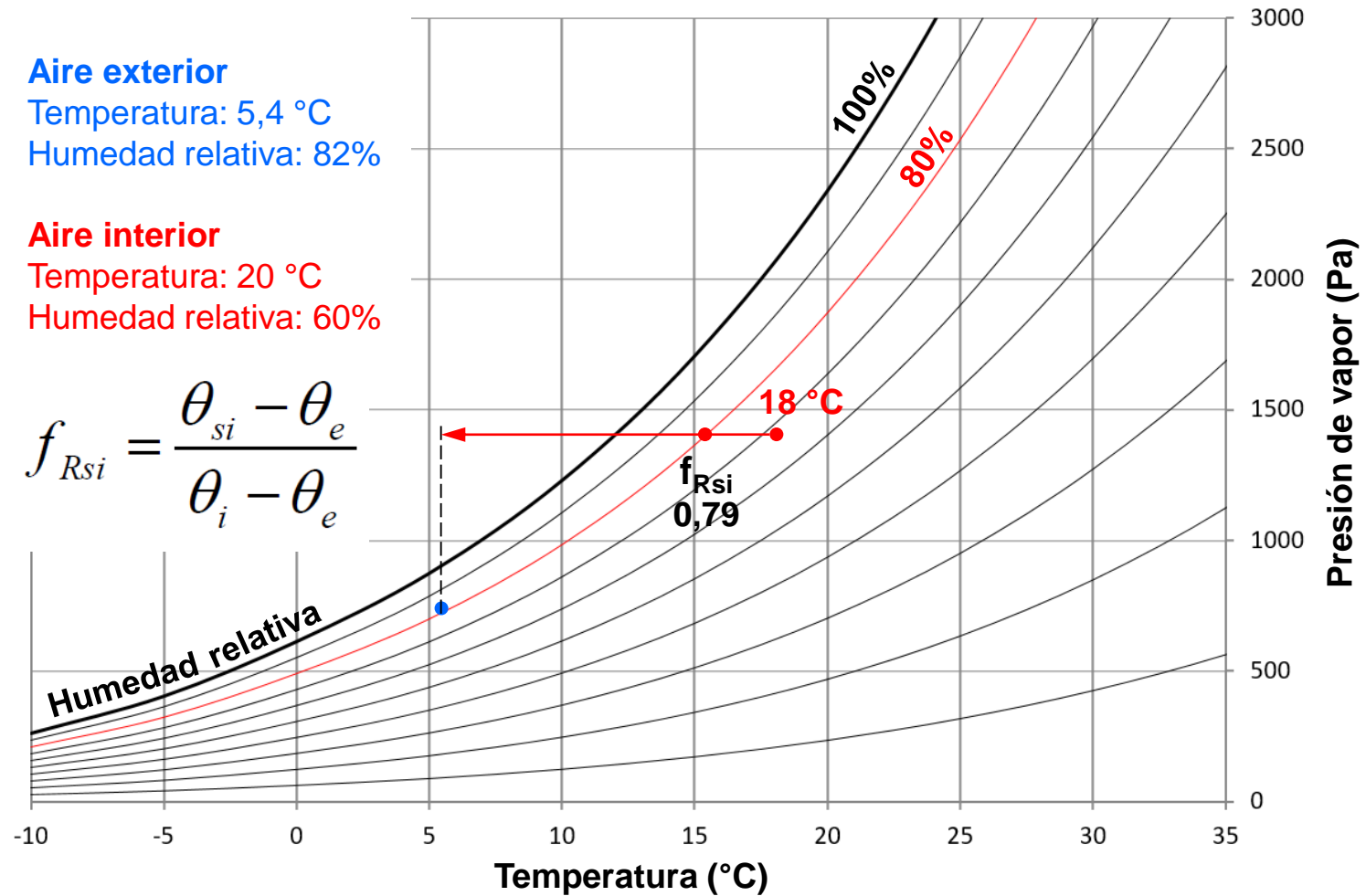




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 60%

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

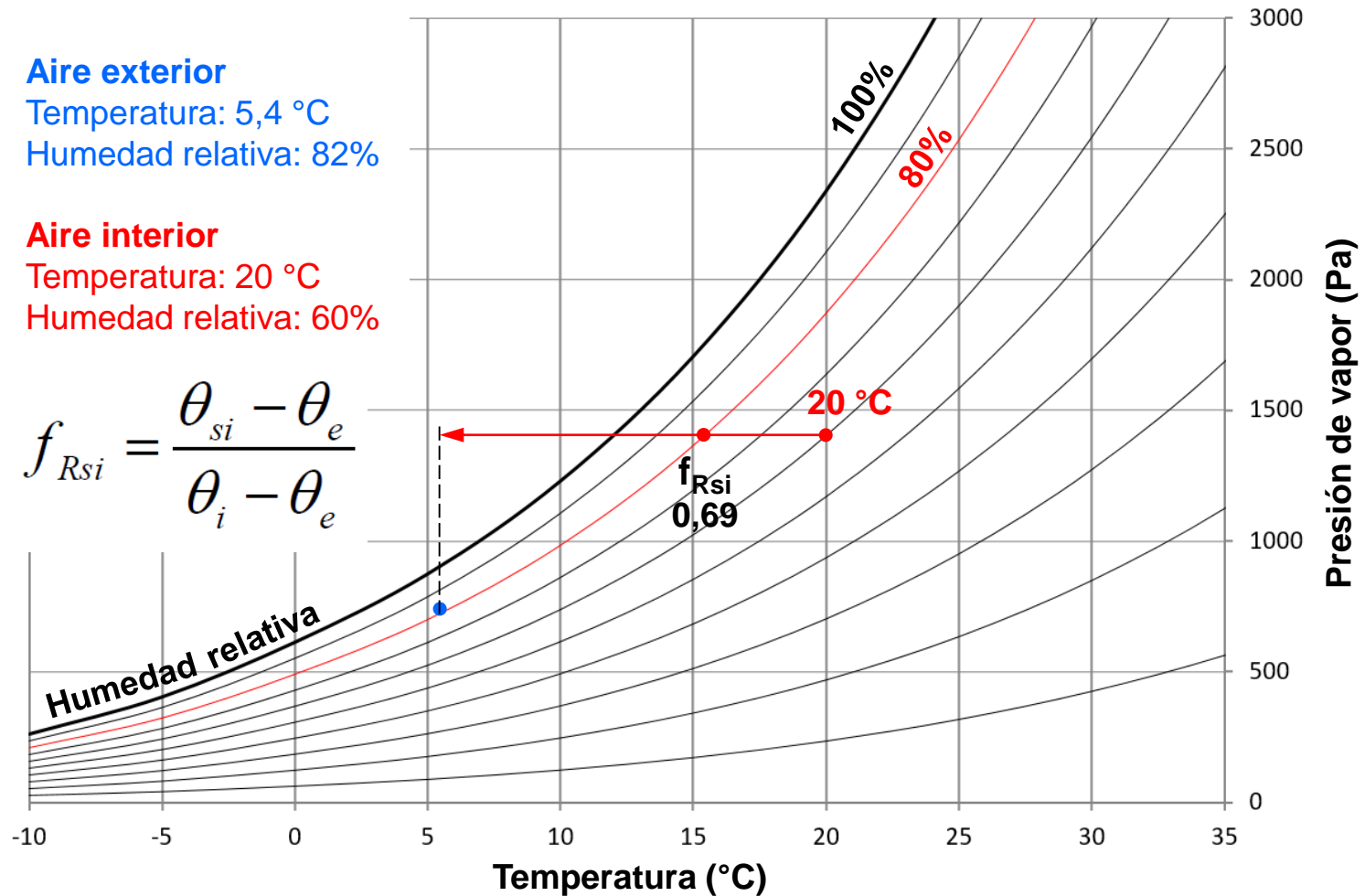




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 60%

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

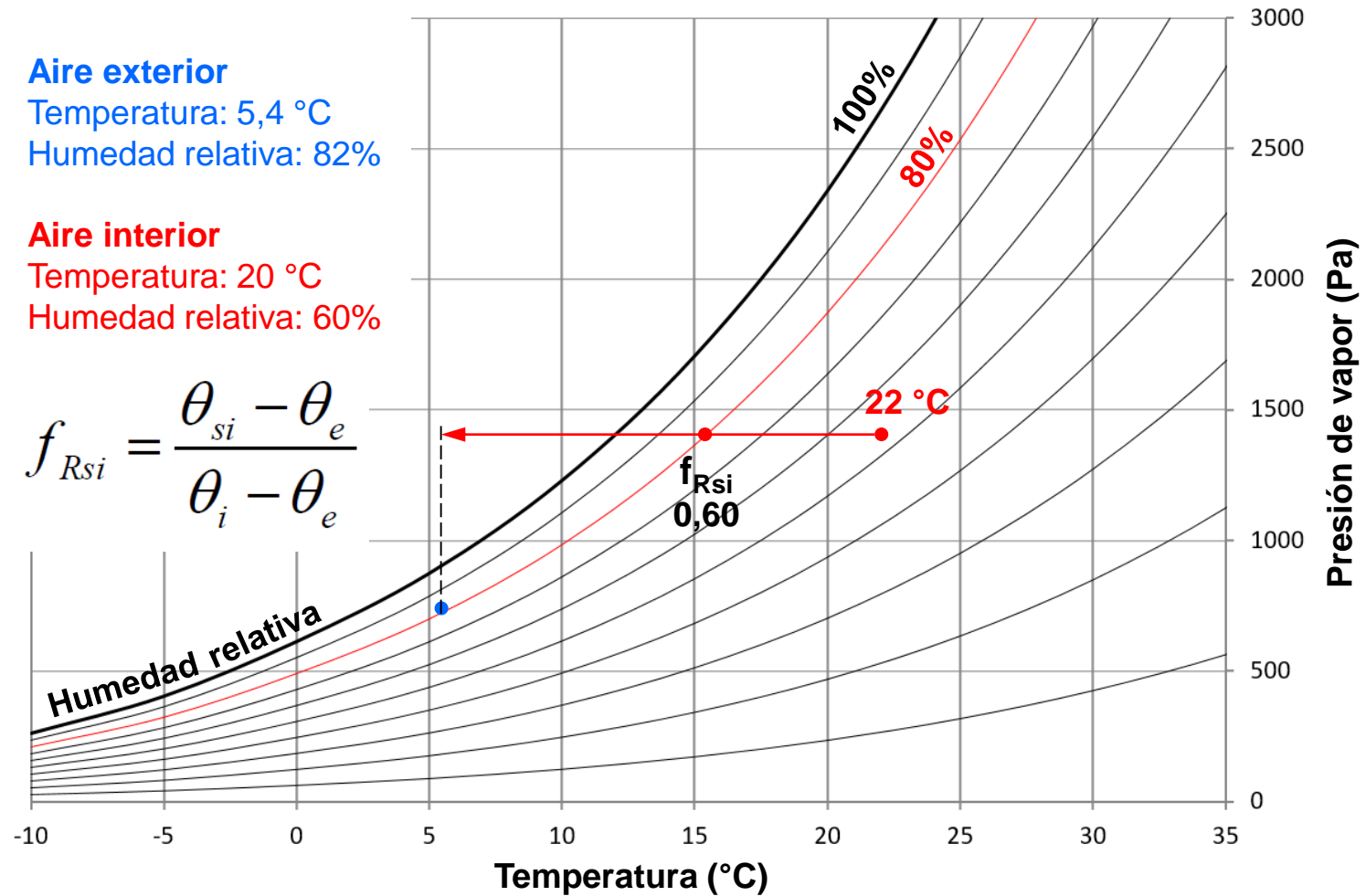




Diagrama psicrométrico

Aire exterior

Temperatura: 5,4 °C

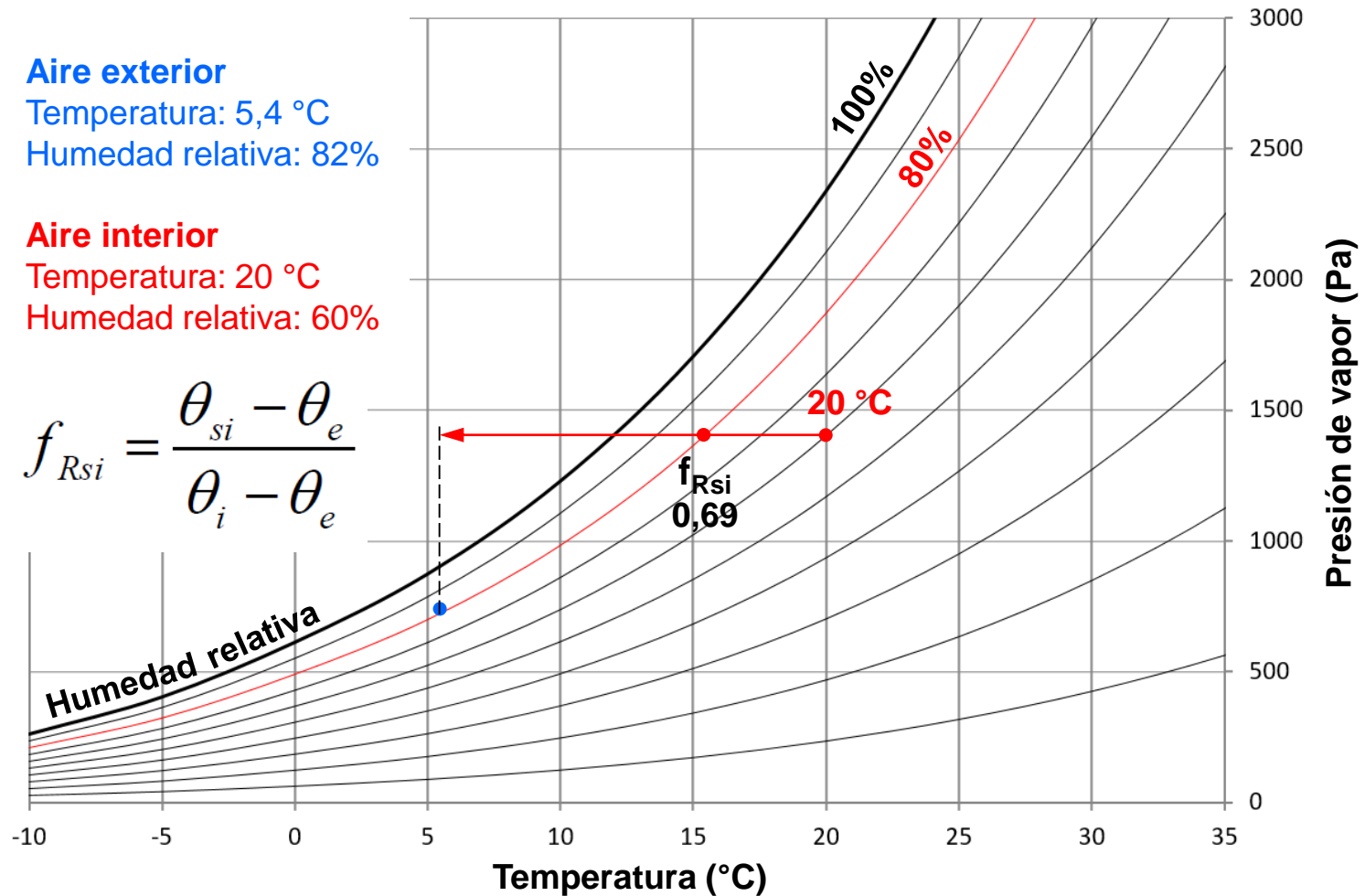
Humedad relativa: 82%

Aire interior

Temperatura: 20 °C

Humedad relativa: 60%

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





Marco normativo

	Condensaciones (vapor)		Filtraciones (agua de lluvia)
	superficiales	intersticiales	
CTE Métodos de verificación		Barrera de vapor	Tablas en CTE DB HS 1
CTE Métodos de análisis	Factor de temperatura DA DB-HE / 2 (4.1)	Método de Glaser DA DB-HE / 2 (4.2)	
UNE-EN Métodos de análisis	Factor de temperatura UNE-EN ISO 13788	Método de Glaser UNE-EN ISO 13788	
	Simulación numérica UNE-EN 15026		



CTE DA DB-HE / 2

DA DB-HE / 2 Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos

1 Objeto

Este documento describe algunos procedimientos que se pueden emplear para la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en espacios habitables establecida en los Documentos Básicos DB-HE y DB-HS del CTE, lo que no impide el uso de otros métodos, detallados o simplificados, que permitan llevar a cabo dichas comprobaciones con suficiente solvencia técnica.



CTE DA DB-HE / 2

2 Datos previos

2.1 Condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones

Para el cálculo de condensaciones se toman como temperaturas exteriores y humedades relativas exteriores los valores medios mensuales de la localidad donde se ubique el edificio.

En el caso de capitales de provincia, se pueden tomar los valores contenidos en la tabla C.1 del apéndice C.



CTE DA DB-HE / 2

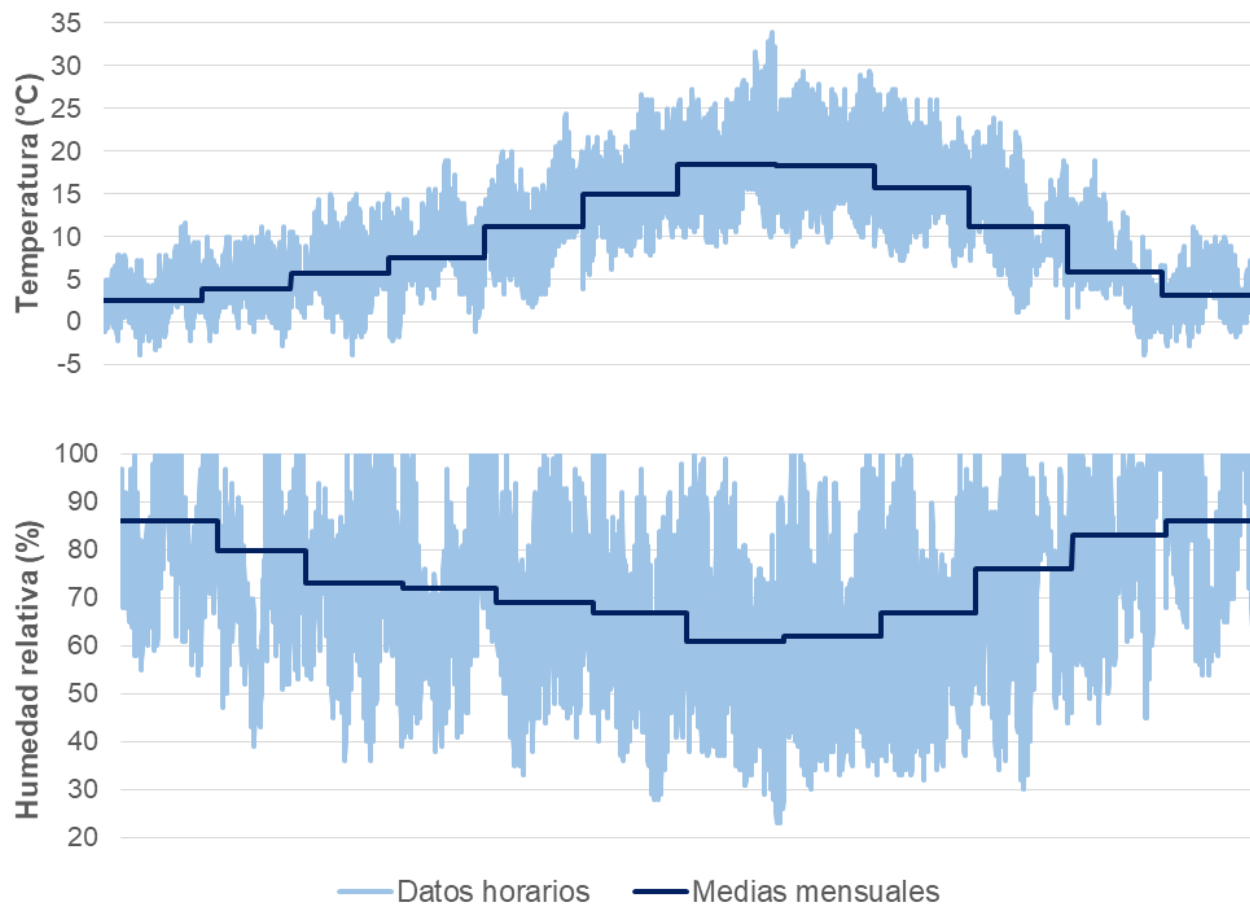
Apéndice C Datos climáticos

Tabla C.1 Datos climáticos mensuales de capitales de provincia, T en °C y HR en %

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Albacete	T _{med}	5,0	6,3	8,5	10,9	15,3	20,0	24,0	23,7	20,0	14,1	8,5	5,3
	HR _{med}	78	70	62	60	54	50	44	50	58	70	77	79
Alicante	T _{med}	11,6	12,4	13,8	15,7	18,6	22,2	25,0	25,5	23,2	19,1	15,0	12,1
	HR _{med}	67	65	63	65	65	65	64	68	69	70	69	68
Almería	T _{med}	12,4	13,0	14,4	16,1	18,7	22,3	25,5	26,0	24,1	20,1	16,2	13,3
	HR _{med}	70	68	66	65	67	65	64	66	66	69	70	69
Avila	T _{med}	3,1	4,0	5,6	7,6	11,5	16,0	19,9	19,4	16,5	11,2	6,0	3,4
	HR _{med}	75	70	62	61	55	50	39	40	50	65	73	77
Badajoz	T _{med}	8,7	10,1	12,0	14,2	17,9	22,3	25,3	25,0	22,6	17,4	12,1	9,0
	HR _{med}	80	76	69	66	60	55	50	50	57	68	77	82
Barcelona	T _{med}	8,8	9,5	11,1	12,8	16,0	19,7	22,9	23,0	21,0	17,1	12,5	9,6
	HR _{med}	73	70	70	70	72	70	69	72	74	74	74	71
Bilbao	T _{med}	8,9	9,6	10,4	11,8	14,6	17,4	19,7	19,8	18,8	16,0	11,8	9,5
	HR _{med}	73	70	70	72	71	72	73	75	74	74	74	74
Burgos	T _{med}	2,6	3,9	5,7	7,6	11,2	15,0	18,4	18,3	15,8	11,1	5,8	3,2
	HR _{med}	86	80	73	72	69	67	61	62	67	76	83	86



Datos climáticos de Burgos

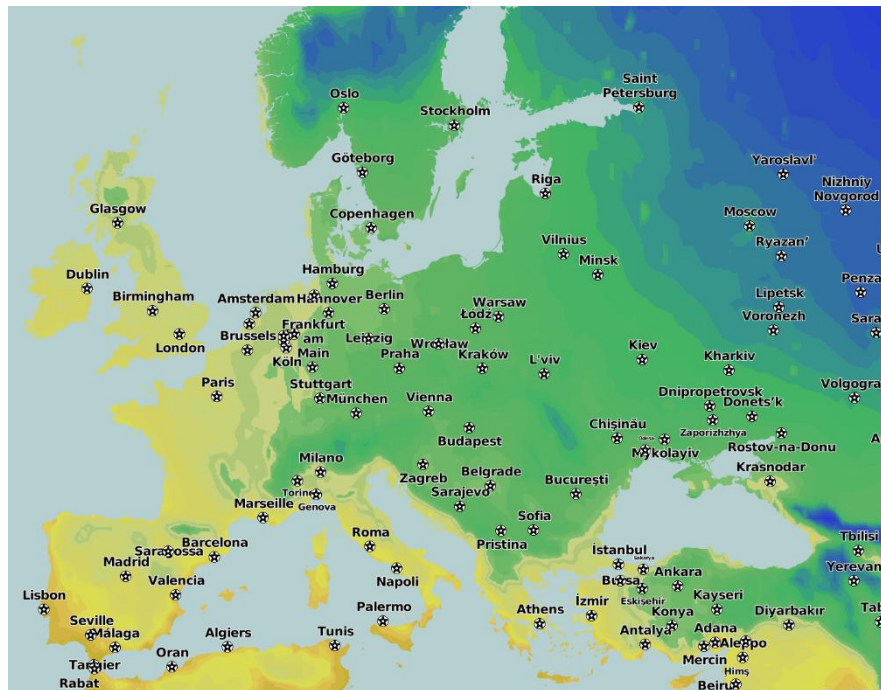




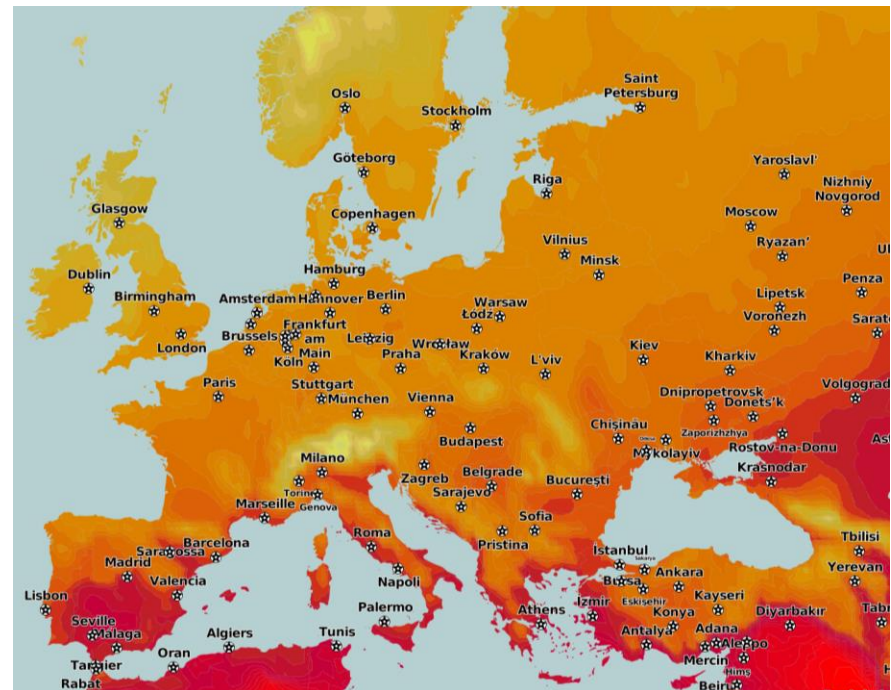
UNIVERSIDAD DE BURGOS

Condiciones climáticas

Temperaturas medias
Enero



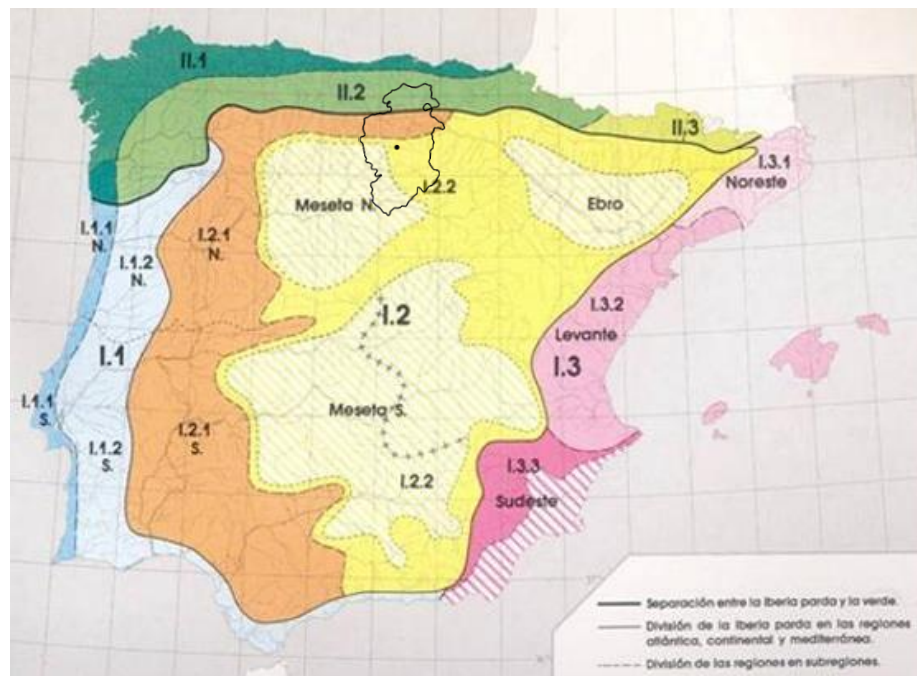
Temperaturas medias
Julio



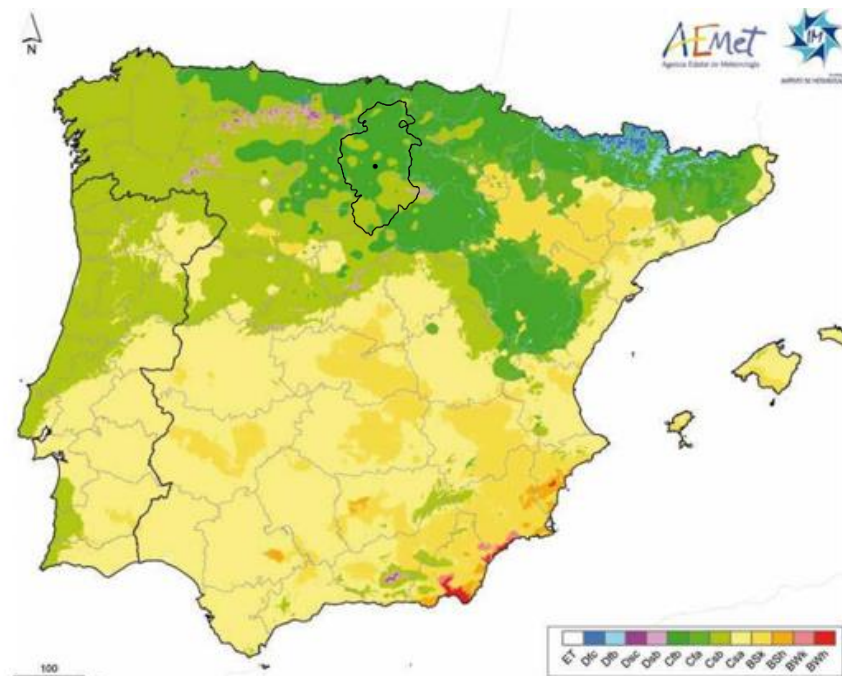
Fuente: www.mappedplanet.com



Condiciones climáticas



I. Font: *Climatología de España y Portugal*.
Instituto Nacional de Meteorología, 1983



Atlas Climático Ibérico (1971–2000).
AEMET + IM, 2011



CTE DA DB-HE / 2

2 Datos previos

2.1 Condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones

2.2 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones

2.2.1 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones superficiales

Se toma una temperatura del ambiente interior igual a 20 °C para el mes de enero.

Si se dispone del dato de humedad relativa interior y esta se mantiene constante, debido por ejemplo a un sistema de climatización, se puede 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 y la tasa de renovación de aire, se puede calcular la humedad relativa interior del mes de enero mediante el método descrito en el apartado 3.2.



CTE DA DB-HE / 2

2 Datos previos

2.1 Condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones

2.2 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones

2.2.1 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones superficiales

2.2.2 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones intersticiales

Si se dispone de los datos de temperatura interior y de humedad relativa interior, se pueden utilizar dichos datos en el cálculo añadiéndole 0,05 a la humedad relativa como margen de seguridad.

Debe cuidarse el uso de datos de temperatura y humedad relativa interior que se correspondan adecuadamente con las condiciones existentes ya que en caso contrario los cálculos pueden dar lugar a resultados incorrectos. Por ejemplo, para una vivienda en zona marítima la humedad relativa interior puede ser muy superior al 55% indicado y producirse condensaciones con gran facilidad que no se detectarían de usar el valor por defecto.

En caso de conocer el ritmo de producción de la humedad interior y la tasa de renovación de aire, se puede calcular la humedad relativa interior para cada mes del año mediante el método descrito en el apartado 3.2.



CTE DA DB-HE / 2

2 Datos previos

2.1 Condiciones exteriores para el cálculo de condensaciones

2.2 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones

2.2.1 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones superficiales

2.2.2 Condiciones interiores para el cálculo de condensaciones intersticiales

En ausencia de datos más precisos, se puede tomar, para todos los meses del año, una temperatura del ambiente interior igual a 20 °C y una humedad relativa del ambiente interior en función de la clase de higrometría del espacio:

- a) clase de higrometría 5, correspondiente a espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías, restaurantes y piscinas: 70%
- b) clase de higrometría 4, correspondiente a espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas, pabellones deportivos, duchas colectivas u otros de uso similar: 62%
- c) clase de higrometría 3 o inferior, correspondiente a espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad, como oficinas, tiendas, zonas de almacenamiento y todos los espacios en edificios de uso residencial: 55%



CTE DA DB-HE / 2

Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales

Método del factor de temperatura

- Límite máximo del 80% en HR media mensual
- Comprobación necesaria en los puentes térmicos

Comprobación de la limitación de condensaciones intersticiales

Método de Glaser

- No es necesaria esta comprobación si se dispone de barrera de vapor* en la cara caliente del cerramiento

(*) elemento con resistencia a la difusión de vapor $> 10 \text{ MN}\cdot\text{s/g}$ (CTE DB HS)



Marco normativo

	Condensaciones (vapor)		Filtraciones (agua de lluvia)
	superficiales	intersticiales	
CTE Métodos de verificación		Barrera de vapor	Tablas en CTE DB HS 1
CTE Métodos de análisis	Factor de temperatura DA DB-HE / 2 (4.1)	Método de Glaser DA DB-HE / 2 (4.2)	
UNE-EN Métodos de análisis	Factor de temperatura UNE-EN ISO 13788	Método de Glaser UNE-EN ISO 13788	
	Simulación numérica UNE-EN 15026		



CTE DA DB-HE / 2

4 Comprobación de la limitación de condensaciones

4.1 Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales

4.1.1 Método de comprobación de condensaciones superficiales

El método del factor de temperaturas superficiales permite limitar el riesgo de aparición de condensaciones superficiales usando un criterio simplificado, que consiste en establecer un límite máximo del 80% de humedad relativa media mensual sobre la superficie del cerramiento analizado.

La comprobación de la limitación de condensaciones superficiales se basa en la comparación del *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 la localidad. A falta de mejores datos se pueden obtener de la tabla C.1 del apéndice C.

En los cerramientos y puentes térmicos se comprueba que el *factor de temperatura de la superficie interior* es superior al factor de temperatura de la superficie interior mínimo. Este factor se puede obtener a partir de la tabla 1 en función de la clase de higrometría de cada espacio y la zona climática de invierno donde se encuentre el edificio.



CTE DA DB-HE / 2

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

Obtención simplificada: Tabla 1

Tabla 1 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$

Zona climática de invierno

Categoría del espacio	α	A	B	C	D	E
Clase de higrometría 5	0,70	0,80	0,80	0,80	0,90	0,90
Clase de higrometría 4	0,56	0,66	0,66	0,69	0,75	0,78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0,42	0,50	0,52	0,56	0,61	0,64

Cálculo: Fórmulas en 4.1.3 (implementadas en Hoja Excel)

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{20 - \theta_e} \quad \theta_{si,min} = \frac{237.3 \cdot \log_e \left(\frac{Psat}{610.5} \right)}{17.269 - \log_e \left(\frac{Psat}{610.5} \right)} \quad Psat = \frac{P_i}{0.8} \quad P_i = \varphi_i \cdot 2337$$



Aplicación

Objetivo: Calcular $f_{Rsi,min}$ para Burgos

Para clases de higrometría 3, 4, 5

Comparar:

- Obtención simplificada (CTE DA DB-HE /2, Tabla 1)
- Fórmulas (CTE DA DB-HE /2, Sección 4.1.3)
 - Obtener datos climáticos exteriores del Apéndice C
 - Obtener datos climáticos interiores de la Sección 2.2.2

¿Qué implicaciones tienen estos valores para el diseño de los cerramientos y los detalles constructivos de los encuentros?



Marco normativo

	Condensaciones (vapor)		Filtraciones (agua de lluvia)
	superficiales	intersticiales	
CTE Métodos de verificación		Barrera de vapor	Tablas en CTE DB HS 1
CTE Métodos de análisis	Factor de temperatura DA DB-HE / 2 (4.1)	Método de Glaser DA DB-HE / 2 (4.2)	
UNE-EN Métodos de análisis	Factor de temperatura UNE-EN ISO 13788	Método de Glaser UNE-EN ISO 13788	
	Simulación numérica UNE-EN 15026		



CTE DA DB-HE / 2

Comprobación de la limitación de condensaciones superficiales

Método del factor de temperatura

- Límite máximo del 80% en HR media mensual
- Comprobación necesaria en los puentes térmicos

Comprobación de la limitación de condensaciones intersticiales

Método de Glaser

- No es necesaria esta comprobación si se dispone de barrera de vapor* en la cara caliente del cerramiento
- (*) elemento con resistencia a la difusión de vapor $> 10 \text{ MN}\cdot\text{s/g}$ (CTE DB HS)



Método de Glaser

Paso 1: Calcular distribución de temperaturas

Temp. superficial ext.

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

Temp. de cada capa

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

Temp. superficial int.

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

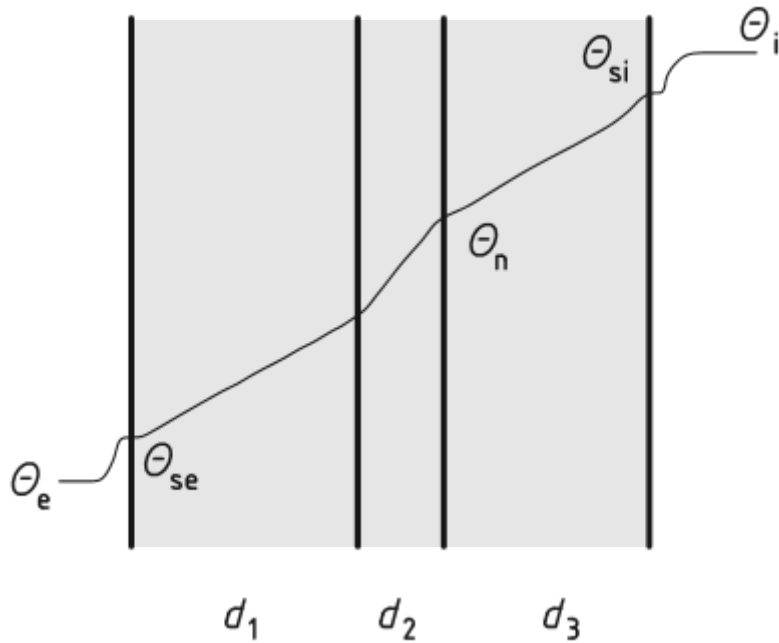
$$\theta_2 = \theta_1 + \frac{R_2}{R_T} \cdot (\theta_i - \theta_e)$$

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

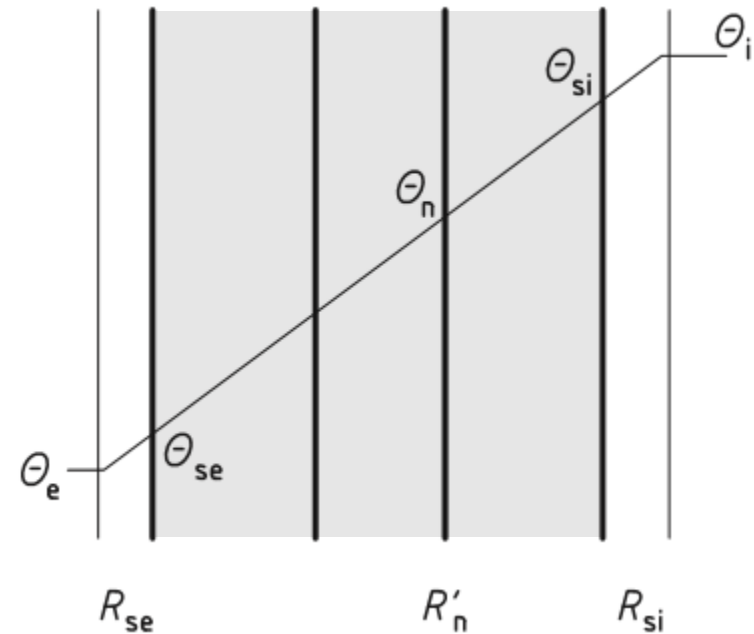


Método de Glaser

Paso 1: Calcular distribución de temperaturas



Espesor real de cada capa



Espesor de cada capa
= resistencia térmica



Método de Glaser

Paso 2: Calcular distribución de la presión de vapor de saturación

La presión de vapor de saturación se calcula en función de la temperatura, a partir de las siguientes ecuaciones:

- a) Si la temperatura (θ) es mayor o igual a 0°C:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{17,269 \cdot \theta}{237,3 + \theta}} \quad [3]$$

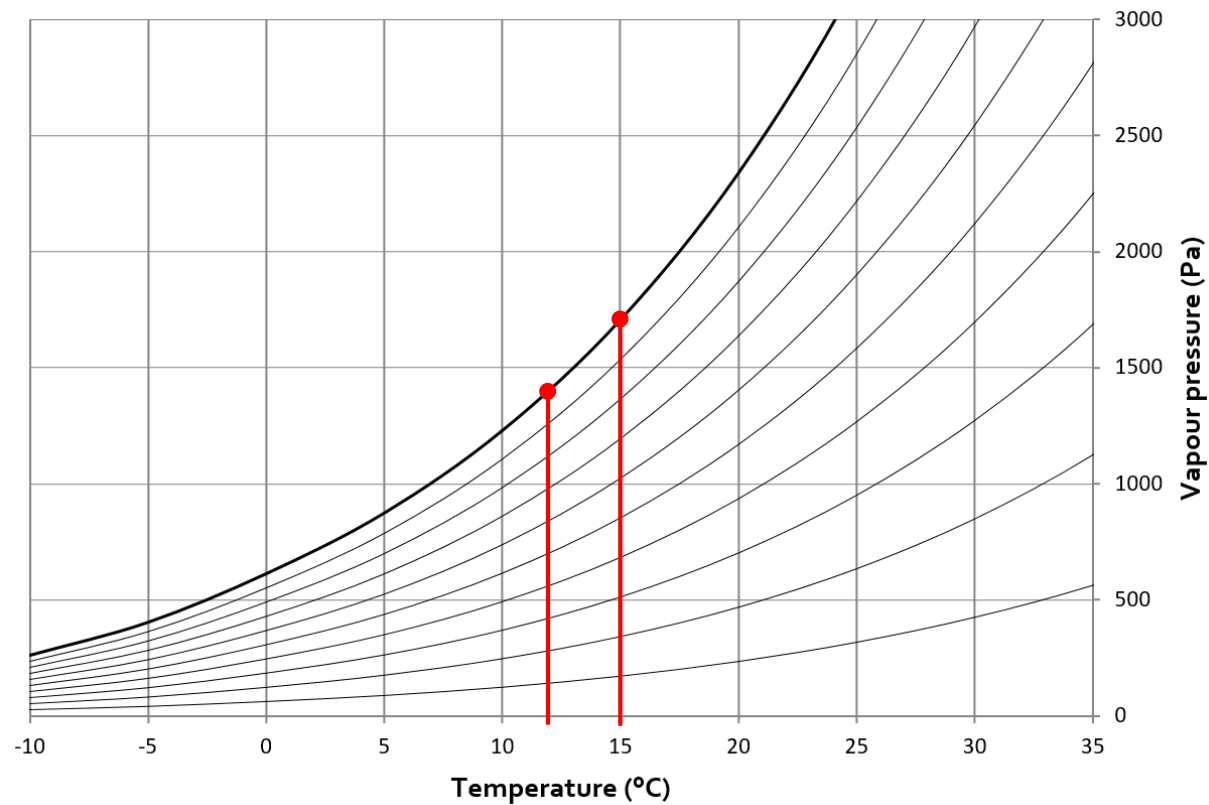
- b) Si la temperatura (θ) es menor que 0°C:

$$P_{sat} = 610,5 \cdot e^{\frac{21,875 \cdot \theta}{265,5 + \theta}} \quad [4]$$



Método de Glaser

Paso 2: Calcular distribución de la presión de vapor de saturación





Método de Glaser

Paso 3: Calcular distribución de la presión de vapor

Presión de vapor ext.

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

Presión de vapor en capas

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

Presión de vapor int.

$$P_i = \phi_i \cdot P_{\text{sat}}(\theta_i)$$

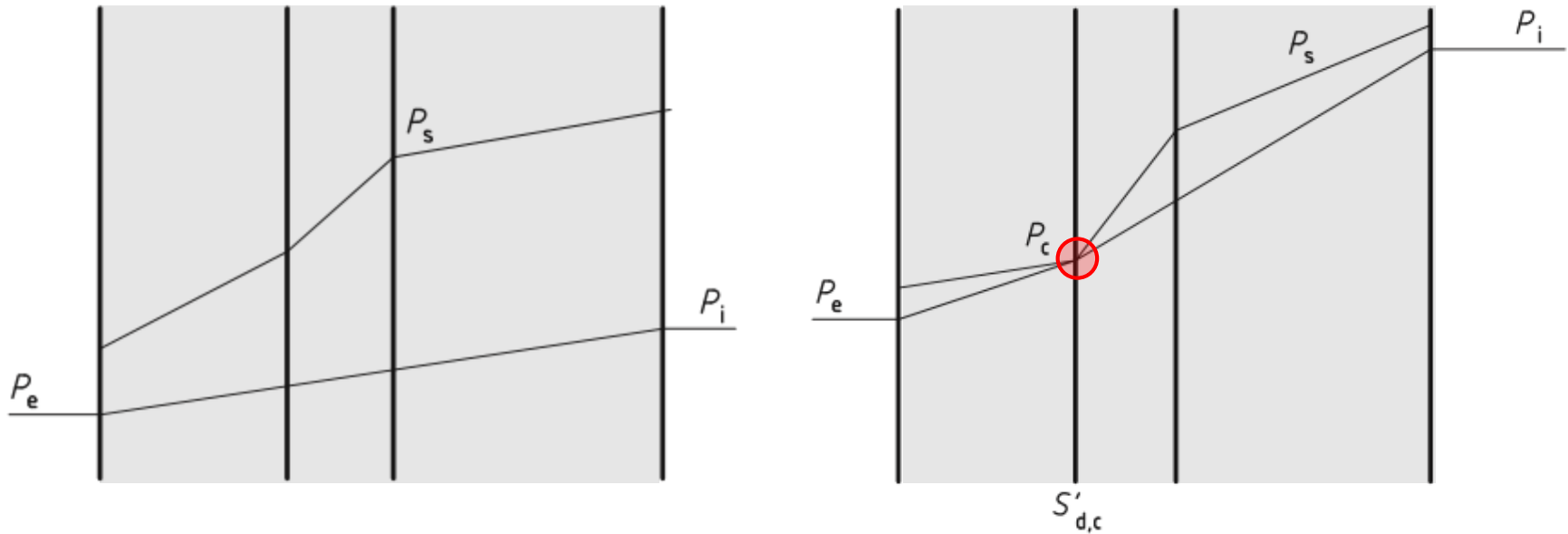
$$P_2 = P_1 + \frac{S_{d2}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$

$$P_n = P_{n-1} + \frac{S_{d(n)}}{\sum S_{dn}} \cdot (P_i - P_e)$$



Método de Glaser

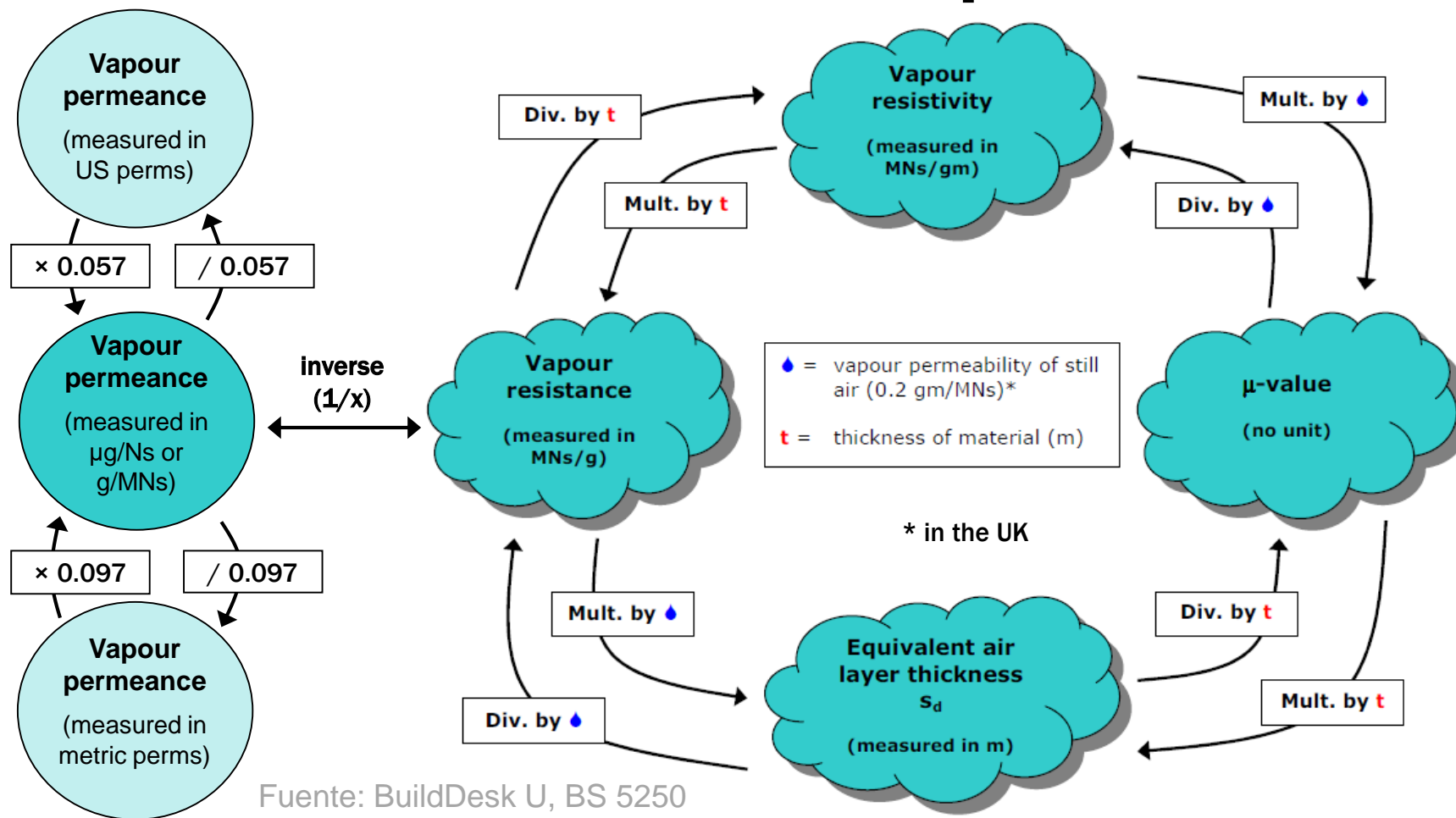
Paso 3: Calcular distribución de la presión de vapor



Espesor de cada capa
= resistencia al vapor



Resistencia al vapor

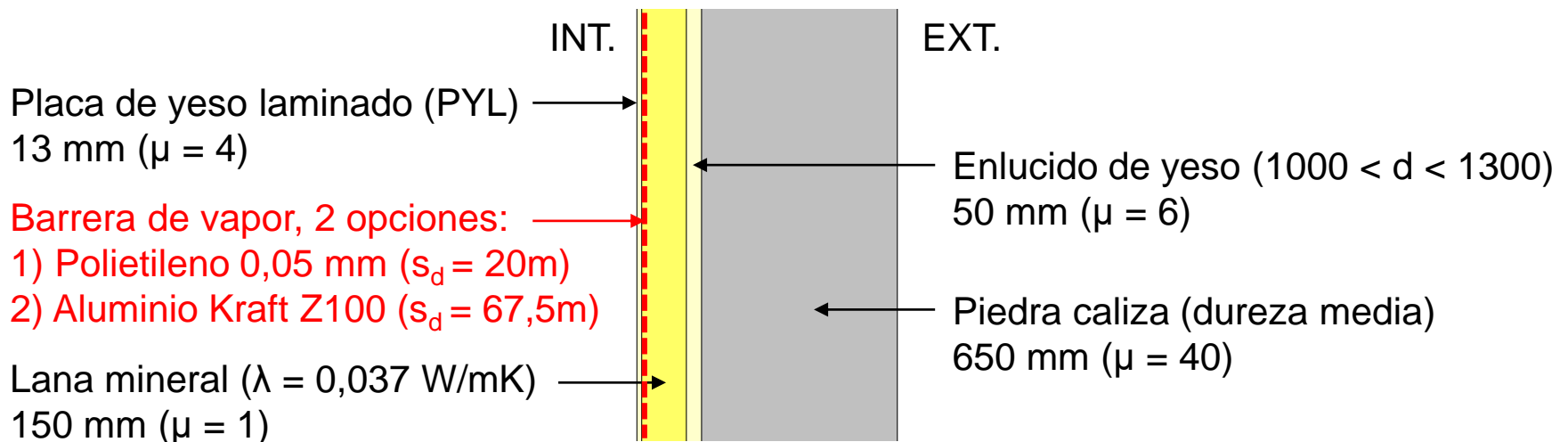




Método de Glaser: aplicación

Objetivo: Verificación del riesgo de condensaciones intersticiales

Utilizando Hoja Excel de URSA





Marco normativo

	Condensaciones (vapor)		Filtraciones (agua de lluvia)
	superficiales	intersticiales	
CTE Métodos de verificación		Barrera de vapor	Tablas en CTE DB HS 1
CTE Métodos de análisis	Factor de temperatura DA DB-HE / 2 (4.1)	Método de Glaser DA DB-HE / 2 (4.2)	
UNE-EN Métodos de análisis	Factor de temperatura UNE-EN ISO 13788	Método de Glaser UNE-EN ISO 13788	
	Simulación numérica UNE-EN 15026		



Métodos de evaluación higrotérmica

UNE-EN ISO 13788

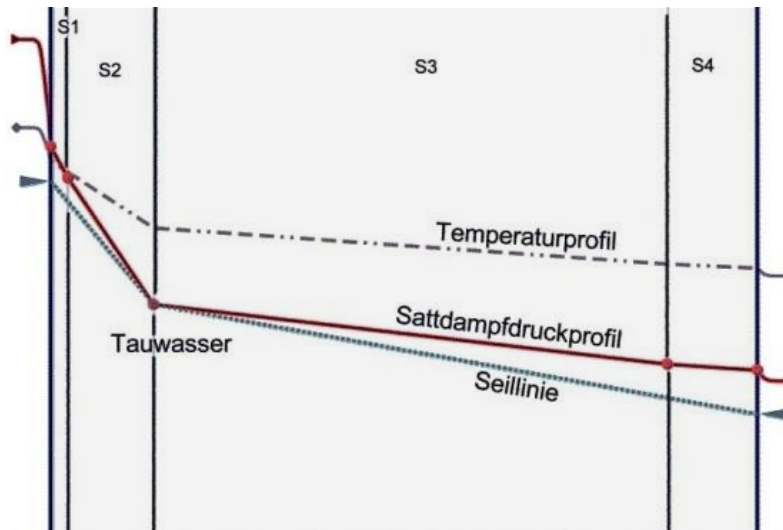
Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. **Temperatura superficial interior para evitar la humedad superficial crítica y la condensación intersticial. Métodos de cálculo.**

UNE-EN 15026

Comportamiento higrotérmico de componentes y elementos de edificación. **Evaluación de la transferencia de humedad mediante simulación numérica.**



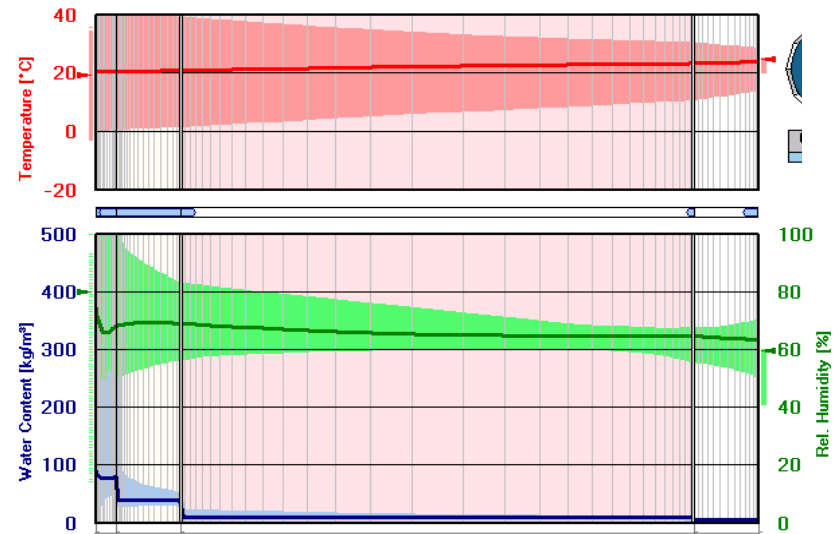
Métodos de evaluación higrotérmica



Método de Glaser (~1930)

Estándar: UNE-EN ISO 13788

- Simplificado, estacionario
- Medias mensuales de temp. y HR
- Tan solo difusión de vapor
- Sencillo: condensa o no condensa



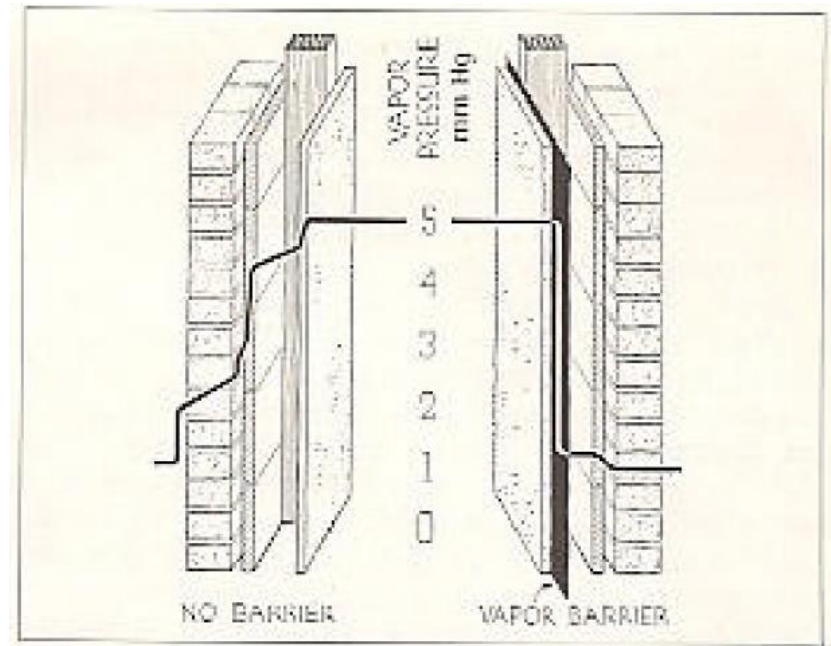
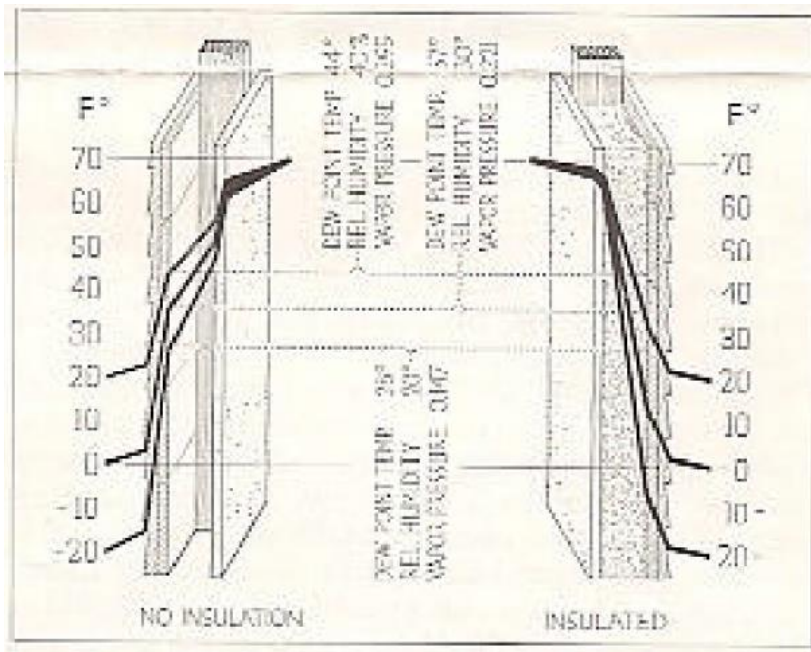
Simulación numérica (~1990)

Estándar: UNE-EN 15026

- Detallado, transitorio
- Datos horarios incl. radiación y lluvia
- También absorción, capilaridad, etc.
- Complejo: interpretación necesaria



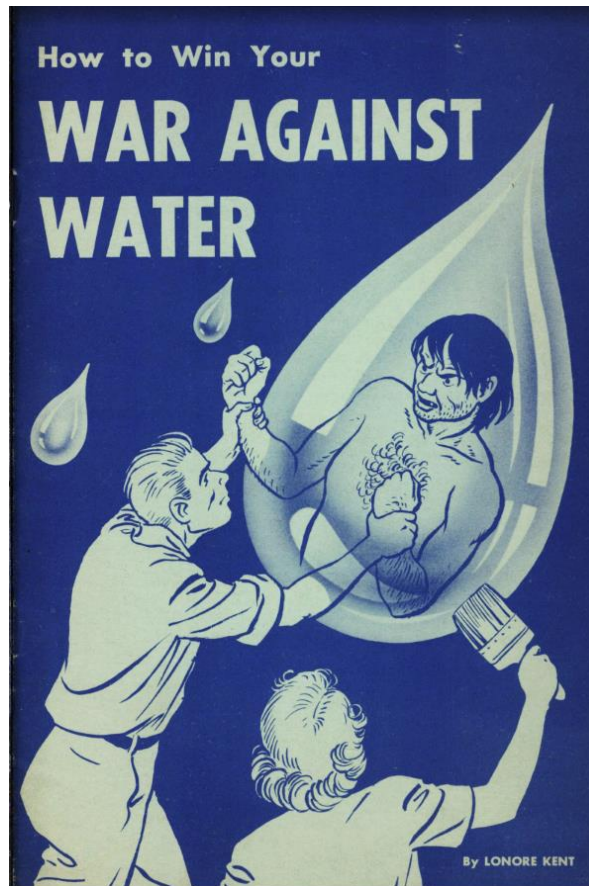
Método de Glaser: historia



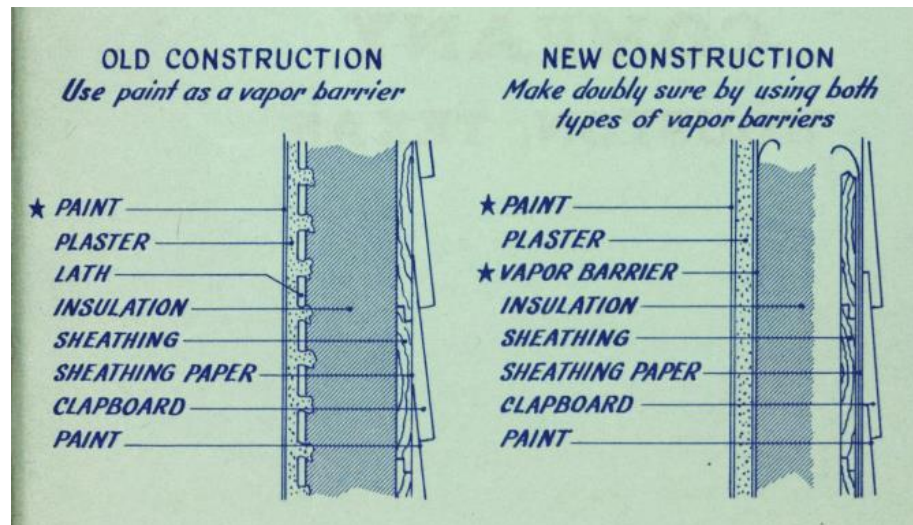
Fuente: F. B. Rowley: *A theory covering the transfer of vapor through materials*, EE UU, 1938



Método de Glaser: historia



They seem innocent enough, these three pools of moisture: the milk from the bottle, the steam from the shower, the vapor rising from the whistling tea kettle. But are they? Oh, no! Like the mild-mannered murderesses in "Arsenic and Old Lace," they're up to no good!





Método de Glaser: marco normativo

UNE-EN ISO 13788:2016

Esta norma ofrece un método de cálculo simplificado para la valoración del riesgo de condensación intersticial por difusión de vapor. Hay un número de fenómenos físicos importantes que el método no considera, entre ellos:

- La variación de las propiedades de los materiales con la humedad
- Succión capilar y transferencia de agua líquida en los materiales
- Movimiento de aire interior hacia el componente o en cámaras de aire
- La capacidad higroscópica de los materiales

Por consiguiente, el método es aplicable solo donde los efectos de estos fenómenos puedan considerarse despreciables.

El método es una valoración y no una herramienta de predicción. No proporciona una predicción precisa del estado de humedad de una estructura en condiciones de servicio.

Esta norma internacional no pretende ser de aplicación para elementos de edificación por los que transcurre aire o que absorben agua de lluvia.



Mecanismos de transporte

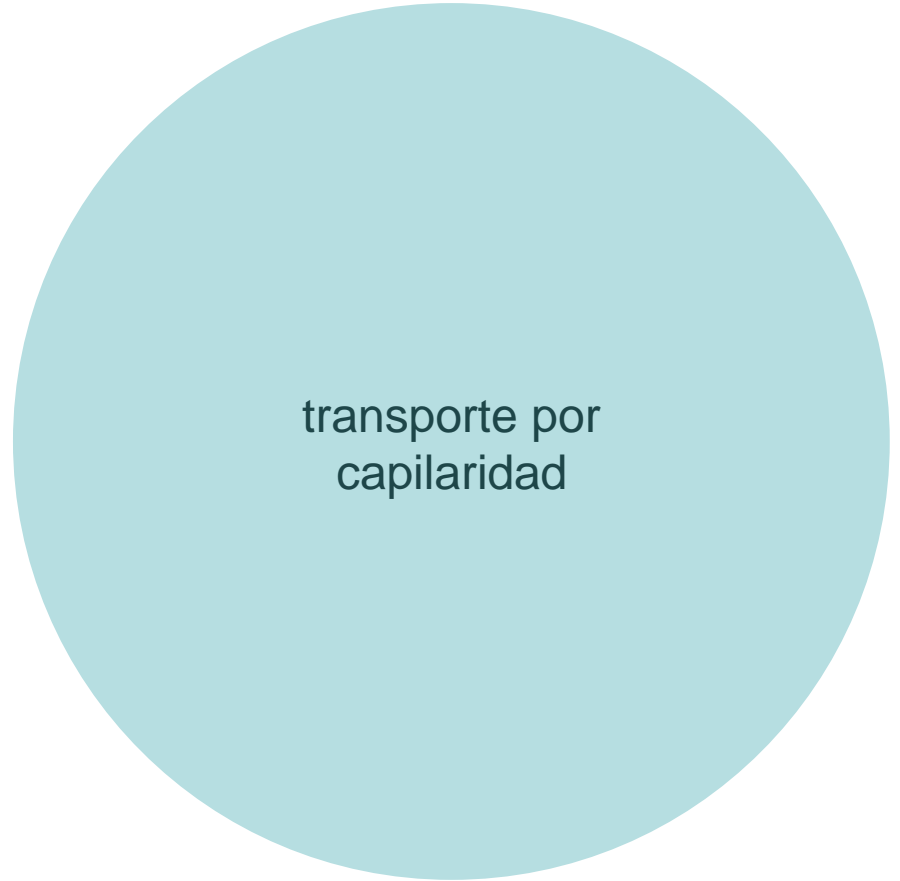
difusión
de vapor



convección
de vapor

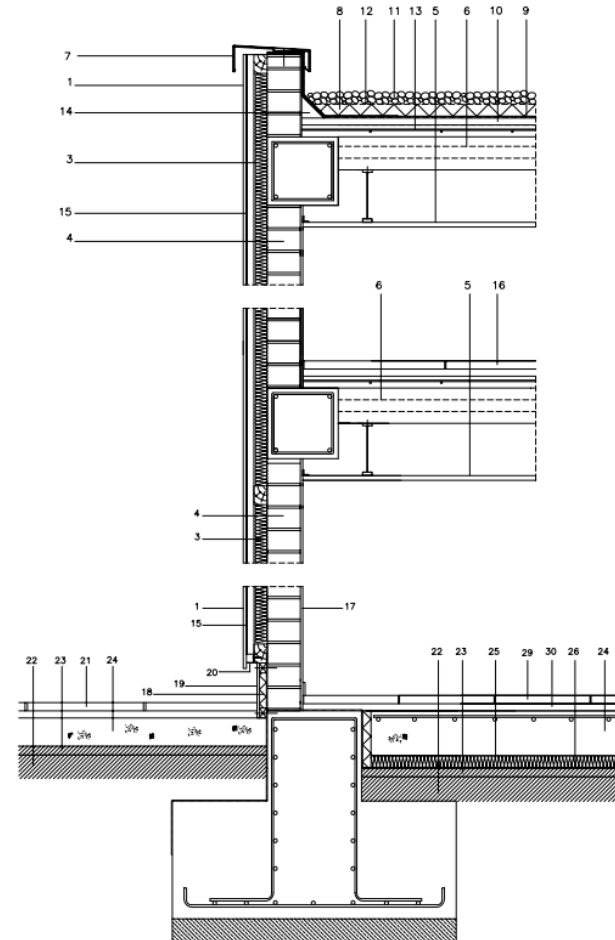
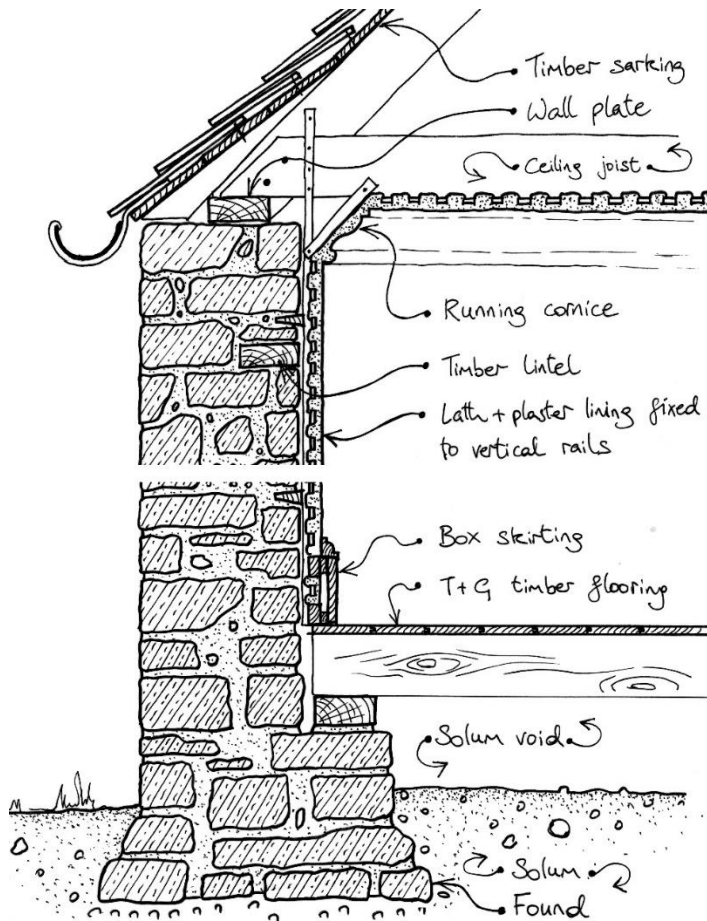


transporte por
capilaridad



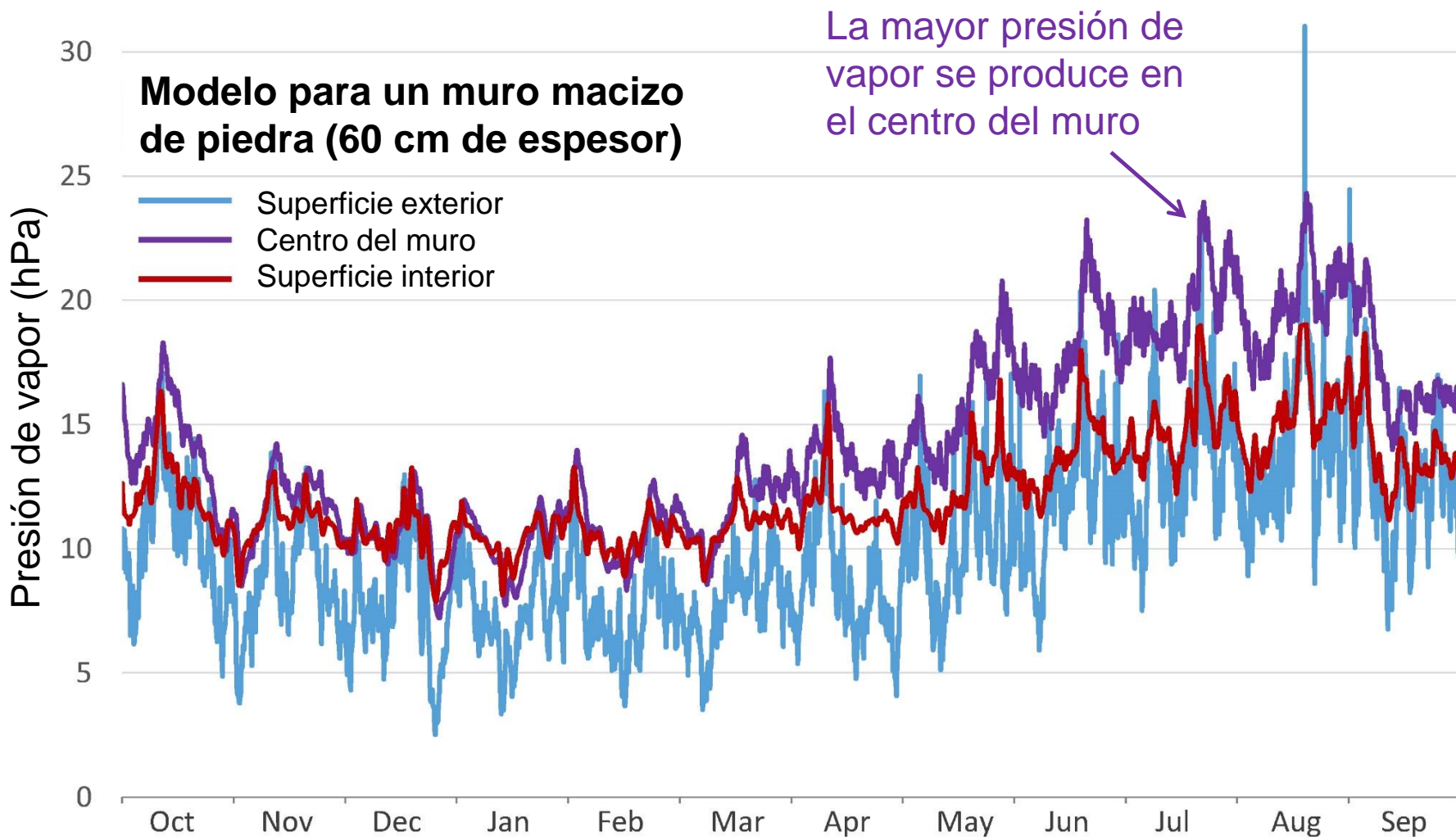


Construcción tradicional vs. moderna



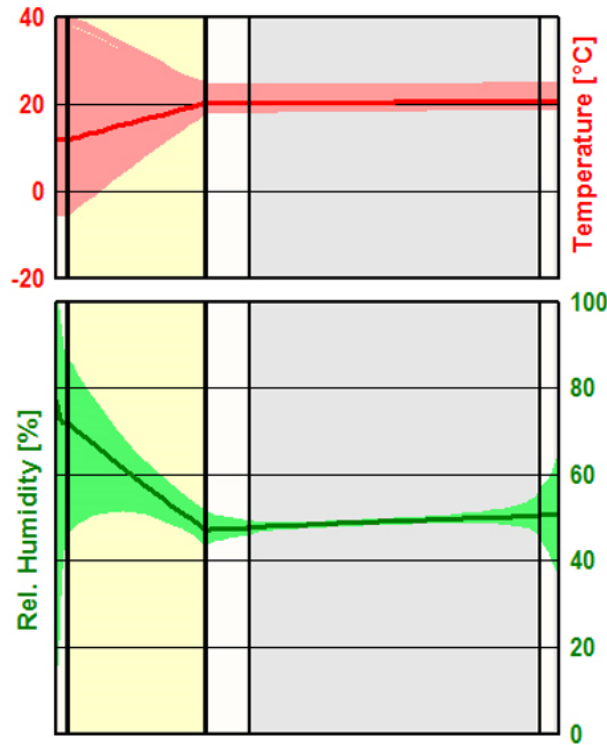


Simulación numérica

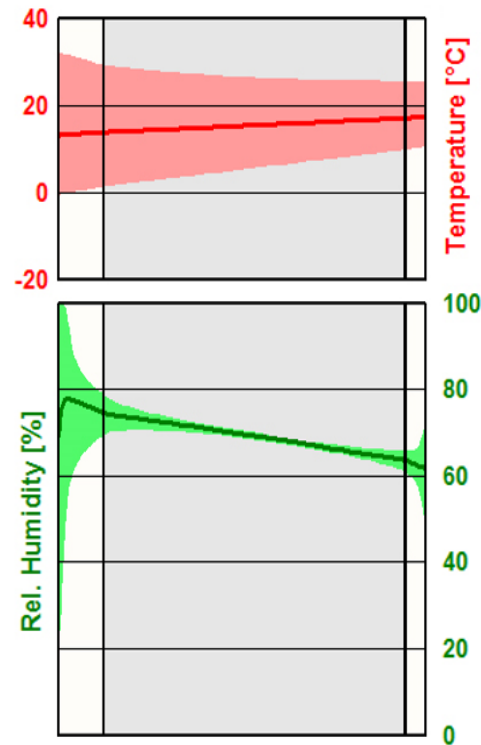




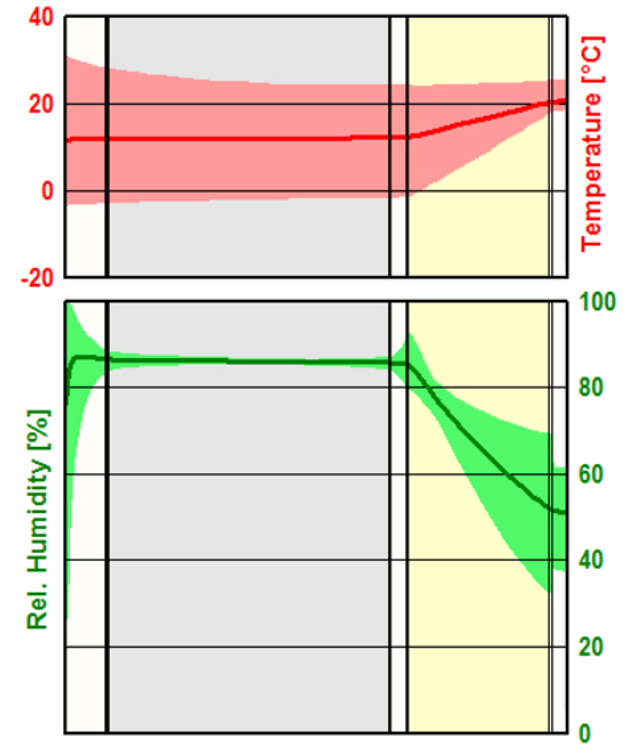
Influencia del aislamiento térmico



Aislando por el exterior
SATE con EPS



Muro existente
Muro macizo de hormigón



Aislando por el interior
Celulosa con barrera de vapor



Cambios en normativas europeas



¿Qué cambia con esta actualización?

- Mayor conciencia de problemas derivados de la humedad relacionados con la adición de grandes niveles de aislamiento térmico.
- Avance en el conocimiento de los mecanismos de humedad en los edificios, con técnicas más sofisticadas (análisis numérico), frente a los métodos mucho más simples (Glaser) que eran recomendados hasta ahora.
- El cambio más significativo se refiere al aislamiento de muros macizos por el interior. Hasta ahora, la adición de una barrera de vapor en la cara interior del aislamiento se consideraba esencial. Ahora se reconoce que, en muchos casos, esto puede ser más perjudicial que beneficioso.



FIN de SESIÓN 3

GRACIAS

Sesión 3: 7 de Mayo de 2019, Mañana

- Transporte de calor y humedad
 - Introducción a los fundamentos físicos
 - Normativa Técnica
- Condensaciones superficiales
 - Factor de temperatura
 - Aplicación: Requisitos para Burgos
- Condensaciones intersticiales
 - Método de Glaser
 - Aplicación: Ejemplo de cálculo
- Límites de aplicación

Beñat Arregi Goikolea
Tecnalia, División Building Technologies
benat.arregi@tecnalia.com
+34 610 742 971