

# Condiciones higroscópicas de los Materiales (Práctica 4)

1. Conceptos básicos.
  2. Conceptos aplicados a los materiales.
  3. Condensaciones { Superficiales  
                          { Intersticiales
1. Estudio de condensación.
  2. Solución de problemas de condensación.

PRÁCTICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN  
Curso 2007-2008. Escuela Técnica Superior de Arquitectura  
Profesora María Teresa Escaño



Universidad  
de Alcalá

## Comportamiento higrotérmico

- Por acciones **higrotérmicas** se entiende la combinación simultánea de acciones térmicas e hídricas, esto es, del calor y de la humedad (vapor de agua contenido en el aire), sobre los materiales.
- Todos los materiales tienden, con el tiempo, al equilibrio con las condiciones higrotérmicas del ambiente.
- El cambio de condiciones higrotérmicas supone una adaptación dimensional (dilatación+entumecimiento).

# Aire atmosférico

- El aire atmosférico está compuesto por:

{ Nitrógeno  
Oxígeno  
Dióxido de carbono  
Vapor de Agua

- El aire seco, es el aire atmosférico sin Vapor de Agua. Su composición es constante en toda la atmósfera.
- Para los estudios higrotérmicos consideramos el aire atmosférico como una mezcla de aire seco y Vapor de agua (Aire Húmedo).

## Humedad Absoluta y Presión de Vapor

- La Humedad Absoluta del aire Húmedo es la relación entre la masa de vapor de agua y la masa de aire seco.

$$H_a = \frac{m_v}{m_a} \rightarrow (g/kg)$$

- La Presión de Vapor del aire Húmedo es la presión parcial del vapor de agua que contiene.
- La Humedad Absoluta y la Presión de Vapor son independientes de la Temperatura.

# Presión de Saturación y Humedad Relativa

- La Presión de Saturación del aire húmedo a una temperatura determinada es la presión de vapor máxima posible a dicha temperatura.
- La Humedad Relativa es la relación entre la presión de vapor y la presión de saturación a una temperatura determinada .

$$HR = \frac{P_v}{P_s} \cdot 100 \rightarrow (\%)$$

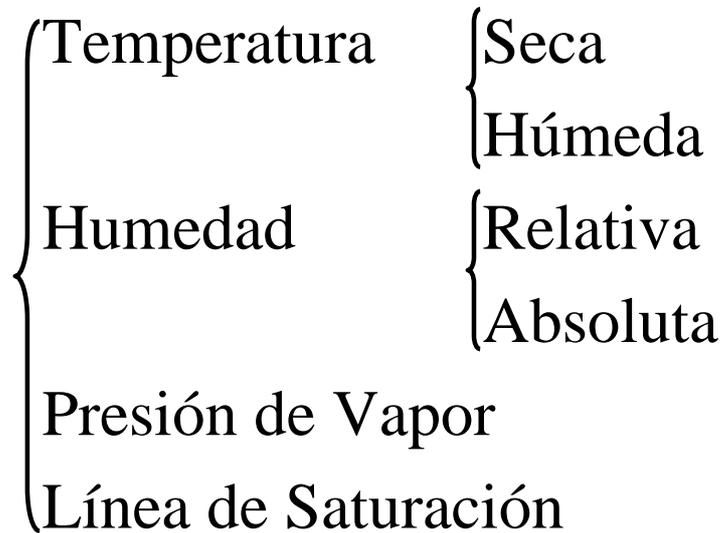
- La Humedad Relativa y la Presión de Saturación dependen de la Temperatura.

## Temperatura de rocío

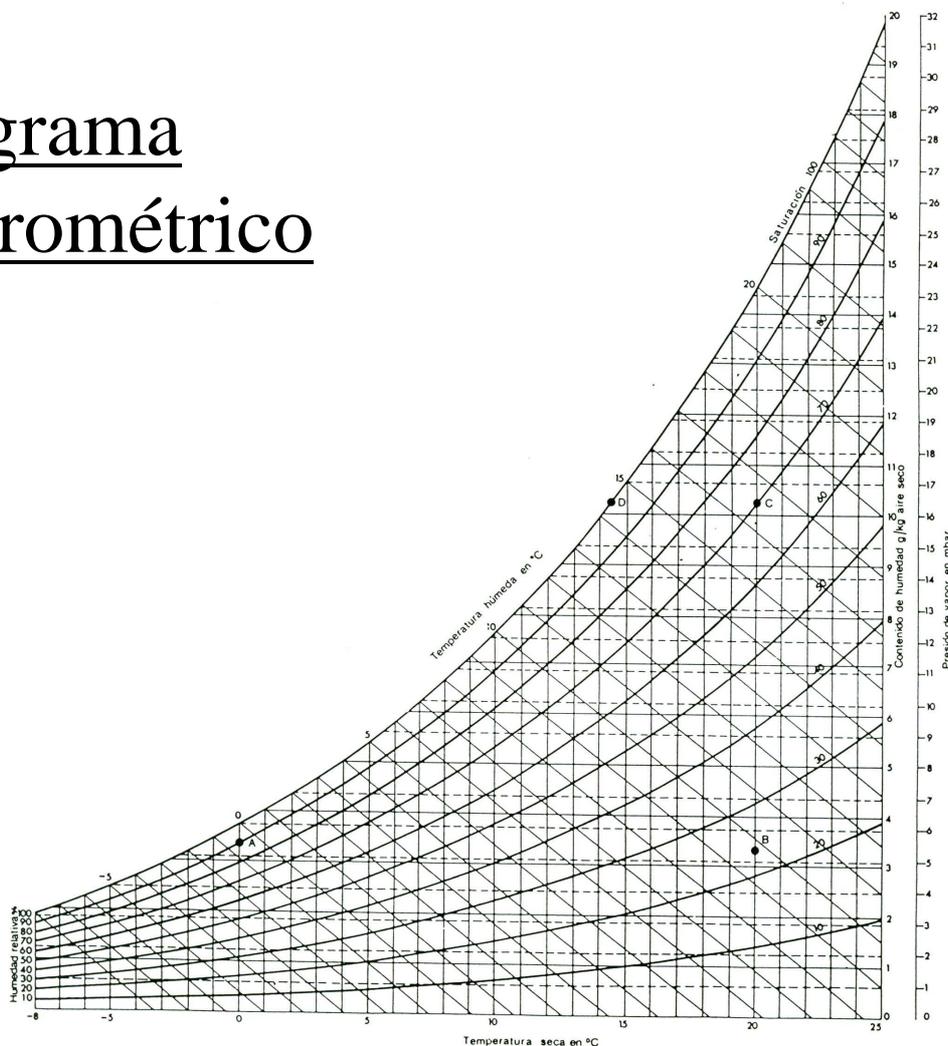
- La Temperatura de Rocío para una  $H_a / P_v$  dada es la temperatura para la que  $P_v = P_s$  .
- Cuando en un cerramiento la temperatura es inferior a la temperatura de Rocío se producen Condensaciones:
  - ┌ Superficiales → En la superficie
  - └ Intersticiales → En las capas interiores

# Diagrama Psicrométrico

- Relaciona los valores de:



## Diagrama Psicrométrico



## Permeabilidad al Vapor de agua de los materiales incluidos en los cerramientos

- Entre dos masas de aire con diferente Presión de Vapor (Humedad absoluta) se produce un flujo de vapor para compensar la diferencia de presión.
- La Permeabilidad o Difusividad al vapor de agua  $d_v$  es la facilidad que presentan los materiales al paso del vapor de agua.
- La Permeabilidad depende del tipo de material.

## Resistividad y Resistencia al vapor de agua

- La resistividad es el inverso de la difusividad.

$$r_v = \frac{1}{d_v} \rightarrow (MN \cdot s / g \cdot m)$$

- La Resistencia es la oposición al paso del vapor de un material de espesor determinado.

$$R_v = r_v \cdot e \rightarrow (MN \cdot s / g)$$

## Factor de resistencia al vapor de agua $\mu$

- Factor de resistencia al vapor de agua  $\mu$  de un material es el cociente entre la permeabilidad al vapor de agua del aire estanco (0,18 m.g/MN.s) y la del material

$$\mu = \frac{d_{va}}{d_{vn}} = \frac{r_{vn}}{r_{va}}$$

- Espesor de aire equivalente  $S$  de un material frente a la difusión del vapor de agua

$$S_{dn} = \mu_n \cdot e_n \rightarrow (m)$$

## Distribución de presión de vapor

- La variación de la presión de vapor en cada capa del cerramiento es proporcional al espesor de aire equivalente de la capa frente a la difusión de vapor de agua

$$\Delta P_n = \frac{S_{dn}}{\Sigma S_d} \cdot (P_i - P_e) \rightarrow (Pa)$$

# Condensaciones superficiales

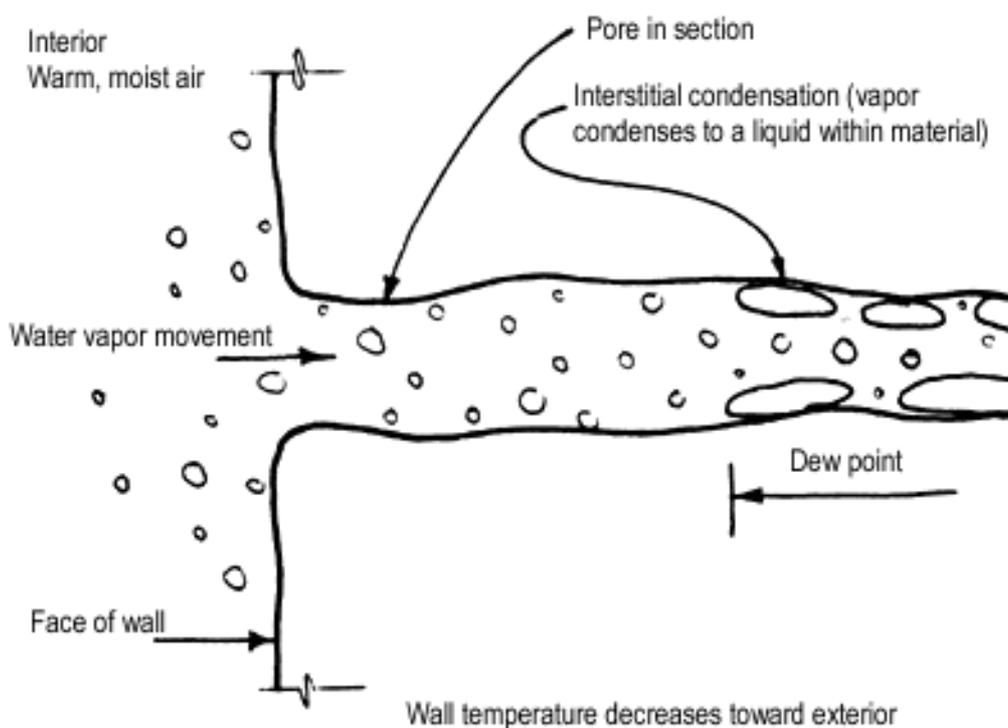
- Cuando la temperatura de la superficie de un cerramiento (normalmente la interior) es menor que la temperatura de rocío, existe riesgo de condensaciones.  $T_i - T_{si} \leq \text{valor límite } f(U, T_e, P_i)$

$$T_{si} = T_i - \frac{U}{h_i} (T_i - T_e)$$

- El Riesgo depende de: 

{	U del cerramiento
	T y HR interior
	T exterior

# Condensaciones intersticiales



# Condensaciones intersticiales

- Cuando se supera la Presión de Saturación o, lo que es lo mismo, la temperatura es inferior a la de rocío, existe Riesgo de Condensaciones en el interior del cerramiento.
- El Riesgo de Condensaciones Intersticiales aumenta cuanto menor es la temperatura en el interior del cerramiento.
- El Riesgo depende de: 
$$\left\{ \begin{array}{l} \lambda \text{ y } d_v \text{ del cerramiento} \\ T \text{ y HR interior} \\ T \text{ y HR exterior} \end{array} \right.$$

## DB HE 1 del CTE

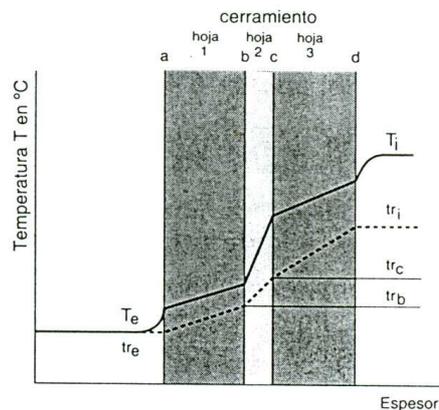
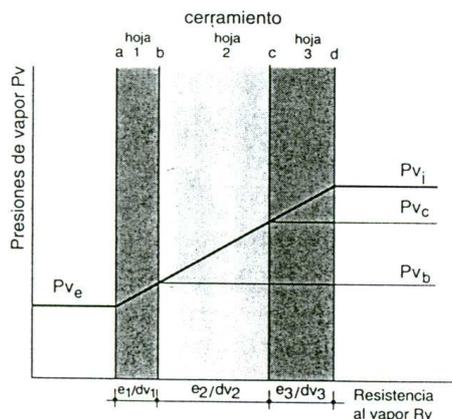
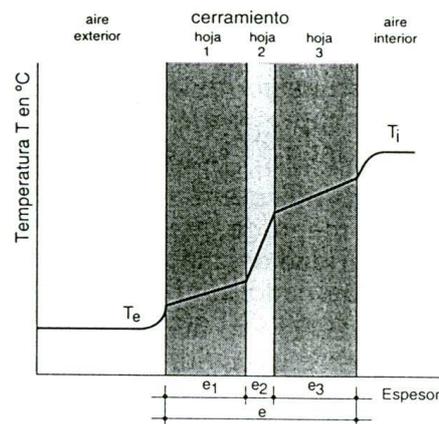
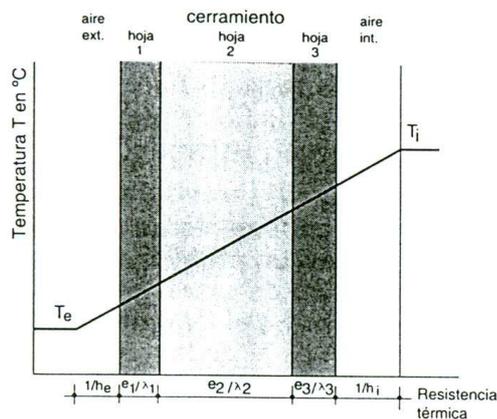
- Limita las características de la envolvente de los edificios para alcanzar el bienestar térmico limitando la demanda energética.
- Función de: clima, uso y régimen estacional
- Controla:
  - 1) Transmitancia térmica máxima de cerramientos de la envolvente ( $U$ )
  - 2) Transmitancia límite de muros verticales, suelos y cubiertas ( $U_{Mlim}$ ,  $U_{Slim}$ ,  $U_{Clim}$ )
  - 3) Condensaciones intersticiales y superficiales
  - 4) Permeabilidad al aire de huecos y lucernarios

# Estudio de Condensaciones

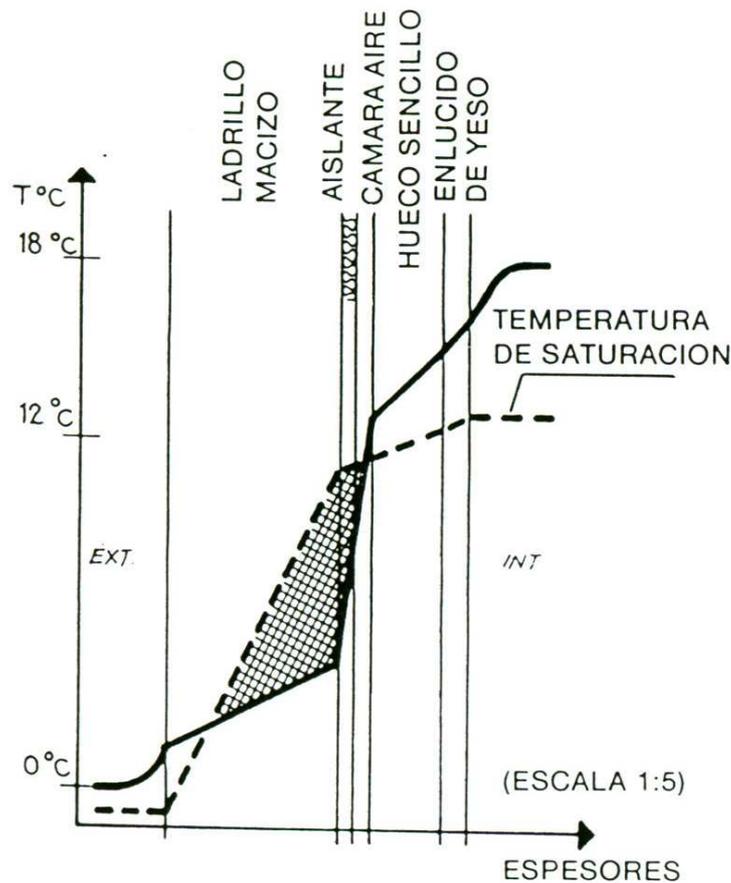
1. Se calculan las temperaturas en cada capa del cerramiento.
2. Se calculan las  $P_v$  en cada capa del cerramiento.
3. Se calculan las temperaturas de Rocío ó las presiones de Saturación (ábaco psicrométrico, formulación)
4. Se comparan las temperaturas y las temperaturas de rocío / presiones de vapor y las presiones de saturación en cada capa

$$T_n > T_{rn} \rightarrow P_{vsn} > P_{vn}$$

# Estudio de Condensaciones



# Estudio de Condensaciones



## Soluciones para problemas de Condensaciones

- Condensaciones superficiales
  - { Aumentar el aislamiento
  - { Ventilar el cerramiento
  - { (Reducir  $P_v$  interior)
- Condensaciones intersticiales
  - { Barrera de Vapor en cara caliente
  - { Ventilar el cerramiento
  - { (Reducir  $P_v$  interior)
  - { Drenar los cerramientos

# Práctica 4

## D.1 Determinación de la zona climática a partir de valores tabulados

1 La zona climática de cualquier localidad en la que se ubiquen los edificios se obtiene de la tabla D.1 en función de la diferencia de altura que exista entre dicha localidad y la altura de referencia de la capital de su provincia. Si la diferencia de altura fuese menor de 200 m o la localidad se encontrase a una altura inferior que la de referencia, se tomará, para dicha localidad, la misma zona climática que la que corresponde a la capital de provincia.

Tabla D.1.- Zonas climáticas

Provincia	Capital	Altura de referencia (m)	Diferencia entre la localidad y la capital de su provincia (m)				
			≥200 <400	≥400 <600	≥600 <800	≥800 <1000	≥1000
Albacete	D3	677	D2	E1	E1	E1	E1
Alicante	B4	7	C3	C1	D1	D1	E1
Almería	A4	0	B3	B3	C1	C1	D1
Ávila	E1	1054	E1	E1	E1	E1	E1
Badajoz	C4	168	C3	D1	D1	E1	E1
Barcelona	C2	1	C1	D1	D1	E1	E1
Bilbao	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Burgos	E1	861	E1	E1	E1	E1	E1
Caceres	C4	365	D3	D1	E1	E1	E1
Cádiz	A3	0	B3	B3	C1	C1	D1
Castellón de la Plana	B3	18	C2	C1	D1	D1	E1
Ceuta	B3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Ciudad real	D3	630	D2	E1	E1	E1	E1
Córdoba	B4	113	C3	C2	D1	D1	E1
Coruña (a)	C1	0	C1	D1	D1	E1	E1
Cuenca	D2	975	E1	E1	E1	E1	E1
Donostia-San Sebastián	C1	5	D1	D1	E1	E1	E1
Girona	C2	143	D1	D1	E1	E1	E1
Granada	C3	754	D2	D1	E1	E1	E1
Guadalajara	D3	708	D1	E1	E1	E1	E1
Huelva	B4	50	B3	C1	C1	D1	D1
Huesca	D2	432	E1	E1	E1	E1	E1
Jaén	C4	436	C3	D2	D1	E1	E1
León	E1	346	E1	E1	E1	E1	E1
Lleida	D3	131	D2	E1	E1	E1	E1
Logroño	D2	379	D1	E1	E1	E1	E1
Lugo	D1	412	E1	E1	E1	E1	E1
Madrid	D3	589	D1	E1	E1	E1	E1
Málaga	A3	0	B3	C1	C1	D1	D1
Melilla	A3	130	B3	B3	C1	C1	D1
Murcia	B3	25	C2	C1	D1	D1	E1
Ourense	C2	327	D1	E1	E1	E1	E1
Oviedo	C1	214	D1	D1	E1	E1	E1
Palencia	D1	722	E1	E1	E1	E1	E1
Palmas de Mallorca	B3	1	B3	C1	C1	D1	D1
Palmas de gran canaria (las)	A3	114	A3	A3	A3	B3	B3
Pamplona	D1	456	E1	E1	E1	E1	E1
Pontevedra	C1	77	C1	D1	D1	E1	E1
Salamanca	D2	770	E1	E1	E1	E1	E1
Santa cruz de Tenerife	A3	0	A3	A3	A3	B3	B3
Santander	C1	1	C1	D1	D1	E1	E1
Segovia	D2	1013	E1	E1	E1	E1	E1
Sevilla	B4	9	B3	C2	C1	D1	E1
Soria	E1	984	E1	E1	E1	E1	E1
Tarragona	B3	1	C2	C1	D1	D1	E1
Teruel	D2	995	E1	E1	E1	E1	E1
Toledo	C4	445	D3	D2	E1	E1	E1
Valencia	B3	8	C2	C1	D1	D1	E1
Valladolid	D2	704	E1	E1	E1	E1	E1
Vitoria-Gasteiz	D1	512	E1	E1	E1	E1	E1
Zamora	D1	617	E1	E1	E1	E1	E1
Zaragoza	D3	207	D2	E1	E1	E1	E1

## Práctica 4: (Apéndice G. Tabla G.2)

Localidad		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Madrid	T <sub>med</sub>	6,2	7,4	9,9	12,2	16,0	20,7	24,4	23,9	20,5	14,7	9,4	6,4
	HR <sub>med</sub>	71	66	56	55	51	46	37	39	50	63	70	73
Málaga	T <sub>med</sub>	12,2	12,8	14,0	15,8	18,7	22,1	24,7	25,3	23,1	19,1	15,1	12,6
	HR <sub>med</sub>	71	70	66	65	61	59	60	63	65	70	72	72
Melilla	T <sub>med</sub>	13,2	13,8	14,6	15,9	18,3	21,5	24,4	25,3	23,5	20,0	16,6	14,1
	HR <sub>med</sub>	72	72	71	70	69	68	67	68	72	75	74	73
Murcia	T <sub>med</sub>	10,6	11,4	12,6	14,5	17,4	21,0	23,9	24,6	22,5	18,7	14,3	11,3
	HR <sub>med</sub>	72	69	69	68	70	71	72	74	73	73	73	73
Ourense	T <sub>med</sub>	7,4	9,3	10,7	12,4	15,3	19,3	21,9	21,7	19,8	15,0	10,6	8,2
	HR <sub>med</sub>	83	75	69	70	67	64	61	62	64	73	83	84
Oviedo	T <sub>med</sub>	7,5	8,5	9,5	10,3	12,8	15,8	18,0	18,3	17,4	14,0	10,4	8,7
	HR <sub>med</sub>	77	75	74	77	79	80	80	80	78	78	78	76
Palencia	T <sub>med</sub>	4,1	5,6	7,5	9,5	13,0	17,2	20,7	20,3	17,9	13,0	7,6	4,4
	HR <sub>med</sub>	84	77	71	70	67	64	58	59	63	73	80	85
Palma de Mallorca	T <sub>med</sub>	11,6	11,8	12,9	14,7	17,6	21,8	24,6	25,3	23,5	20,0	15,6	13,0
	HR <sub>med</sub>	71	69	68	67	69	69	67	71	73	72	72	71
Palmas, Las	T <sub>med</sub>	17,5	17,6	18,3	18,7	19,9	21,4	23,2	24,0	23,9	22,5	20,4	18,3
	HR <sub>med</sub>	68	67	65	66	65	67	66	67	69	70	70	68
Pamplona	T <sub>med</sub>	4,5	6,5	8,0	9,9	13,3	17,3	20,5	20,3	18,2	13,7	8,3	5,7
	HR <sub>med</sub>	80	73	68	66	66	62	58	61	61	69	76	79
Pontevedra	T <sub>med</sub>	9,9	10,7	11,9	13,6	15,4	18,8	20,7	20,5	19,1	16,1	12,6	10,3
	HR <sub>med</sub>	74	73	69	67	68	66	65	65	69	72	73	74
S, Sebastian	T <sub>med</sub>	7,9	8,5	9,4	10,7	13,5	16,1	18,4	18,7	18,0	15,2	10,9	8,6
	HR <sub>med</sub>	76	74	74	79	79	82	82	83	79	76	76	76
Salamanca	T <sub>med</sub>	3,7	5,3	7,3	9,6	13,4	17,8	21,0	20,3	17,5	12,3	7,0	4,1
	HR <sub>med</sub>	85	78	69	66	62	58	50	53	62	74	82	86
Santa Cruz de Tenerife	T <sub>med</sub>	17,9	18,0	18,6	19,1	20,5	22,2	24,6	25,1	24,4	22,4	20,7	18,8
	HR <sub>med</sub>	66	66	62	61	60	59	56	58	63	65	67	66
Santander	T <sub>med</sub>	9,7	10,3	10,8	11,9	14,3	17,0	19,3	19,5	18,5	16,1	12,5	10,5
	HR <sub>med</sub>	71	71	71	74	75	77	77	78	77	75	73	72
Segovia	T <sub>med</sub>	4,1	5,2	7,1	9,1	13,1	17,7	21,6	21,2	17,9	12,6	7,3	4,3
	HR <sub>med</sub>	75	71	65	65	61	55	47	49	55	65	73	78
Sevilla	T <sub>med</sub>	10,7	11,9	14,0	16,0	19,6	23,4	26,8	26,8	24,4	19,5	14,3	11,1
	HR <sub>med</sub>	79	75	68	65	59	56	51	52	58	67	76	79
Soria	T <sub>med</sub>	2,9	4,0	5,8	8,0	11,8	16,1	19,9	19,5	16,5	11,3	6,1	3,4
	HR <sub>med</sub>	77	73	68	67	64	60	53	54	60	70	76	78
Tarragona	T <sub>med</sub>	10,0	11,3	13,1	15,3	18,4	22,2	25,3	25,3	22,7	18,4	13,5	10,7
	HR <sub>med</sub>	66	63	59	59	61	60	59	62	67	70	68	66
Teruel	T <sub>med</sub>	3,8	4,8	6,8	9,3	12,6	17,5	21,3	20,6	17,9	12,1	7,0	4,5
	HR <sub>med</sub>	72	67	60	60	60	55	50	54	59	66	71	76
Toledo	T <sub>med</sub>	6,1	8,1	10,9	12,8	16,8	22,5	26,5	25,7	22,6	16,2	10,7	7,1
	HR <sub>med</sub>	78	72	59	62	55	47	43	45	54	68	77	81
Valencia	T <sub>med</sub>	10,4	11,4	12,6	14,5	17,4	21,1	24,0	24,5	22,3	18,3	13,7	10,9
	HR <sub>med</sub>	63	61	60	62	64	66	67	69	68	67	66	64
Valladolid	T <sub>med</sub>	4,1	6,1	8,1	9,9	13,3	18,0	21,5	21,3	18,6	12,9	7,6	4,8
	HR <sub>med</sub>	82	72	62	61	57	52	44	46	53	67	77	83
Vitoria	T <sub>med</sub>	4,6	6,0	7,2	9,2	12,4	15,6	18,3	18,5	16,5	12,7	7,5	5,0
	HR <sub>med</sub>	83	78	72	71	71	71	69	70	70	74	81	83
Zamora	T <sub>med</sub>	4,3	6,3	8,3	10,5	14,0	18,5	21,8	21,3	18,7	13,4	8,1	4,9
	HR <sub>med</sub>	83	75	65	63	59	54	47	50	58	70	79	83
Zaragoza	T <sub>med</sub>	6,2	8,0	10,3	12,8	16,8	21,0	24,3	23,8	20,7	15,4	9,7	6,5
	HR <sub>med</sub>	76	69	60	59	55	52	48	54	61	70	75	77

## Práctica 4: Apartado 3.1.2

- 3 A efectos de comprobación de la limitación de condensaciones en los cerramientos, los *espacios habitables* se caracterizan por el *exceso de humedad interior*. En ausencia de datos más precisos y de acuerdo con la clasificación que se expresa en la norma EN ISO 13788: 2002 se establecen las siguientes categorías:
- espacios de clase de higrometría 5: espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías y piscinas;
  - espacios de clase de higrometría 4: espacios en los que se prevea una alta producción de humedad, tales como cocinas industriales, restaurantes, pabellones deportivos, duchas colectivas u otros de uso similar;
  - espacios de clase de higrometría 3 o inferior: espacios en los que no se prevea una alta producción de humedad. Se incluyen en esta categoría todos los espacios de edificios residenciales y el resto de los espacios no indicados anteriormente.

## Práctica 4: (Apéndice G)

### G.1.2.1 Para el cálculo de condensaciones superficiales

- Se tomará una temperatura del ambiente interior igual a 20 °C para el mes de enero.
- En caso de conocer el ritmo de producción de la humedad interior, y la tasa de renovación de aire, se podrá calcular la humedad relativa interior del mes de enero mediante el método descrito en el apartado G.3.2.
- 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.

### G.1.2.2 Para el cálculo de condensaciones intersticiales

- En ausencia de datos más precisos, se tomará una temperatura del ambiente interior igual a 20 °C para todos los meses del año, y una humedad relativa del ambiente interior en función de la clase de higrometría del espacio:
  - clase de higrometría 5: 70%
  - clase de higrometría 4: 62%
  - clase de higrometría 3 o inferior: 55%
- En caso de conocer el ritmo de producción de la humedad interior, y la tasa de renovación de aire, se podrá calcular la humedad relativa interior para cada mes del año mediante el método descrito en el apartado G.3.2.
- Si se disponen de los datos temperatura interior y de humedad relativa interior, se podrán utilizar dichos datos en el cálculo añadiéndole 0,05 a la humedad relativa como margen de seguridad.