

Bienvenido
Ongi etorri
Bem vindos
Benvinguts



URSA

Grupo Uralita

ANÁLISIS DE CONDENSACIONES

Características del aire húmedo

Josep Solé

EL AIRE ES UNA MEZCLA DE GASES:



OXÍGENO
NITRÓGENO
VAPOR DE AGUA

CARACTERIZACIÓN AIRE HÚMEDO



CONTENIDO DE HUMEDAD (W):

Es la cantidad absoluta de agua que contiene el aire.

$$W = m_{\text{vapor}} / m_{\text{aire}}$$

Se expresa en g / kg aire seco

PRESIÓN DE VAPOR (Pv):

Es la presión que generaría el vapor de agua contenido en el aire supuesto que ocupase todo su volumen.

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

Se expresa en Pa

HUMEDAD SATURACION (Wsat)

A cada temperatura el aire solo puede contener una humedad absoluta limite a partir de la que el vapor se transforma en liquido.

PRESION DE SATURACION (Psat):

Es la presión de vapor que generaría la humedad limite.

HUMEDAD RELATIVA (Hr)

Es la relación entre la humedad absoluta y la humedad limite ó presión de vapor y la de saturación).

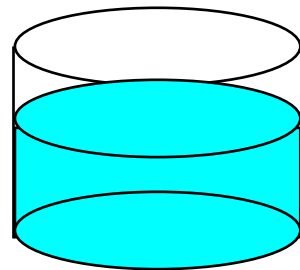
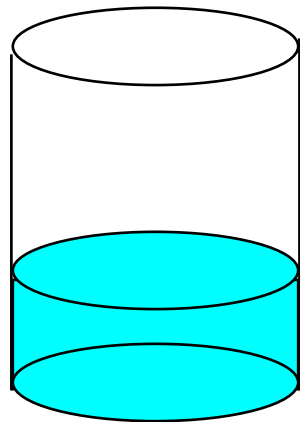
$$Hr = H_{\text{abs}} / H_{\text{sat}} \text{ ó } Hr = P_v / P_{\text{sat}}$$

Se expresa en %

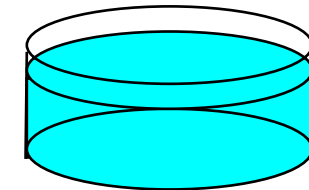
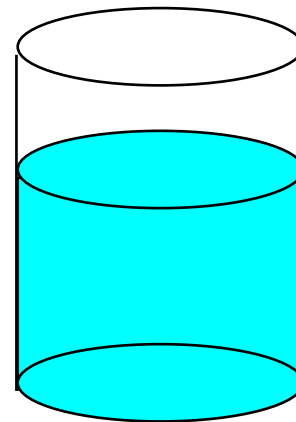


AIRE HÚMEDO (SIMIL)

Cantidad agua = H_{abs}
Capacidad vaso = H_{sat}
Altura vaso = T_{emp}
Llenado = H_r



Igual cantidad de agua en cada vaso pero diferente % de llenado



Mayor porcentaje de llenado a pesar de menor cantidad de agua

NO CONFUNDIR HUMEDAD ABSOLUTA CON RELATIVA

Presión de saturación (Pa):

$$si _ \theta > 0^{\circ} C$$

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

$$si _ \theta < 0^{\circ} C$$

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

Contenido de humedad (g/kg):

$$W = 622 \cdot \frac{Hr \cdot P_{sat}}{P - Hr \cdot P_{sat}}$$

Ejemplo:

Aire a 22°C y 82% Hr con Presión atmosférica 998 mbar= 99800 Pa

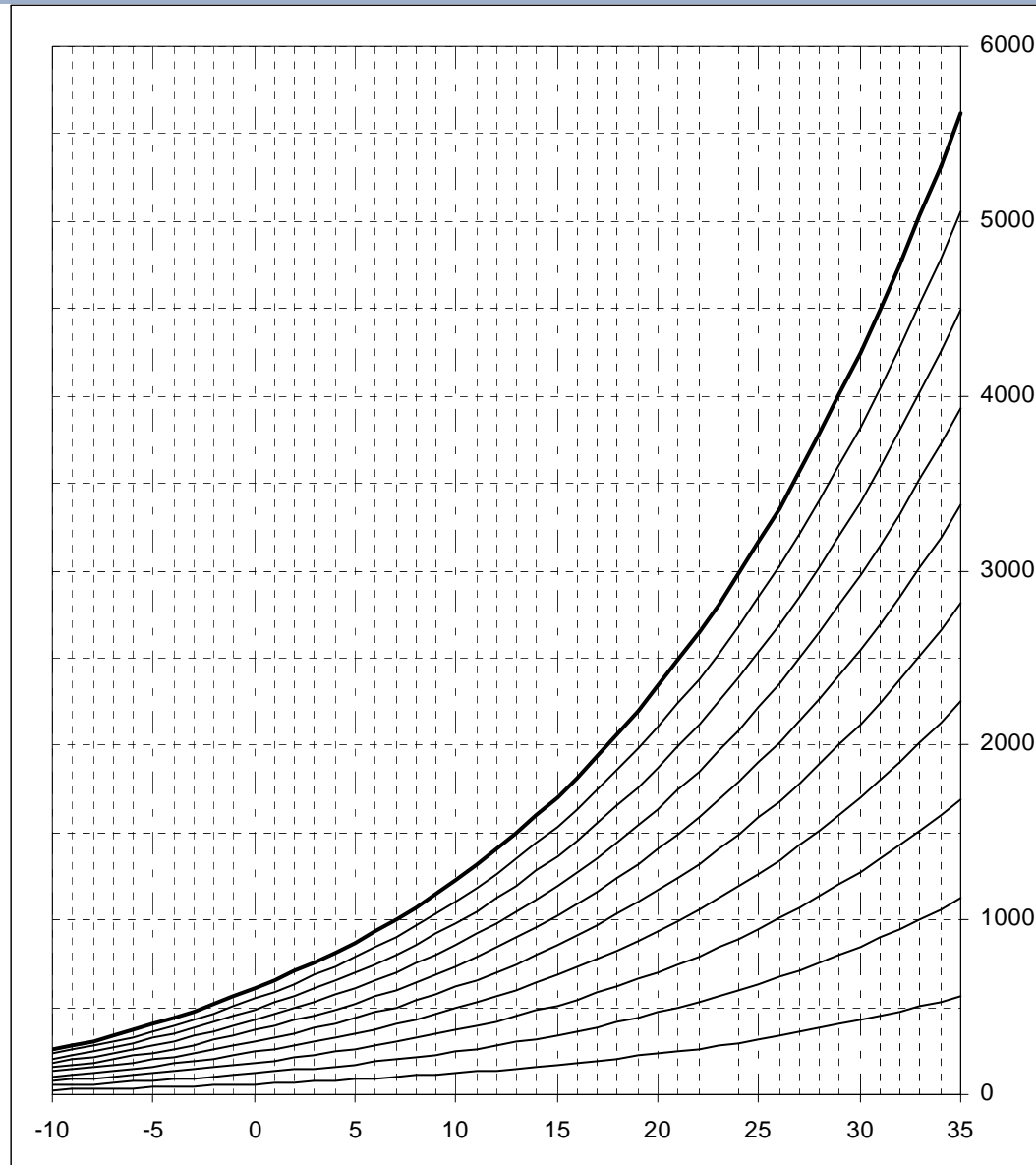
Psat = 2642 Pa P_{vap} = 0,82*2642 = 2166 Pa W=14 g /kg

DIAGRAMA PSICOMETRICO



**RELACIONA LAS
CARACTERÍSTICAS
DEL AIRE HÚMEDO
CON LA
TEMPERATURA.**

**A cada temperatura
corresponde una
presión de
saturación**



UTILIZACIÓN ÁBACO

Aire interior 20°C

Psat= 2337 Pa

con 50%

Pv=1168 Pa

W=7,26 g/kg

Aire exterior 0°C

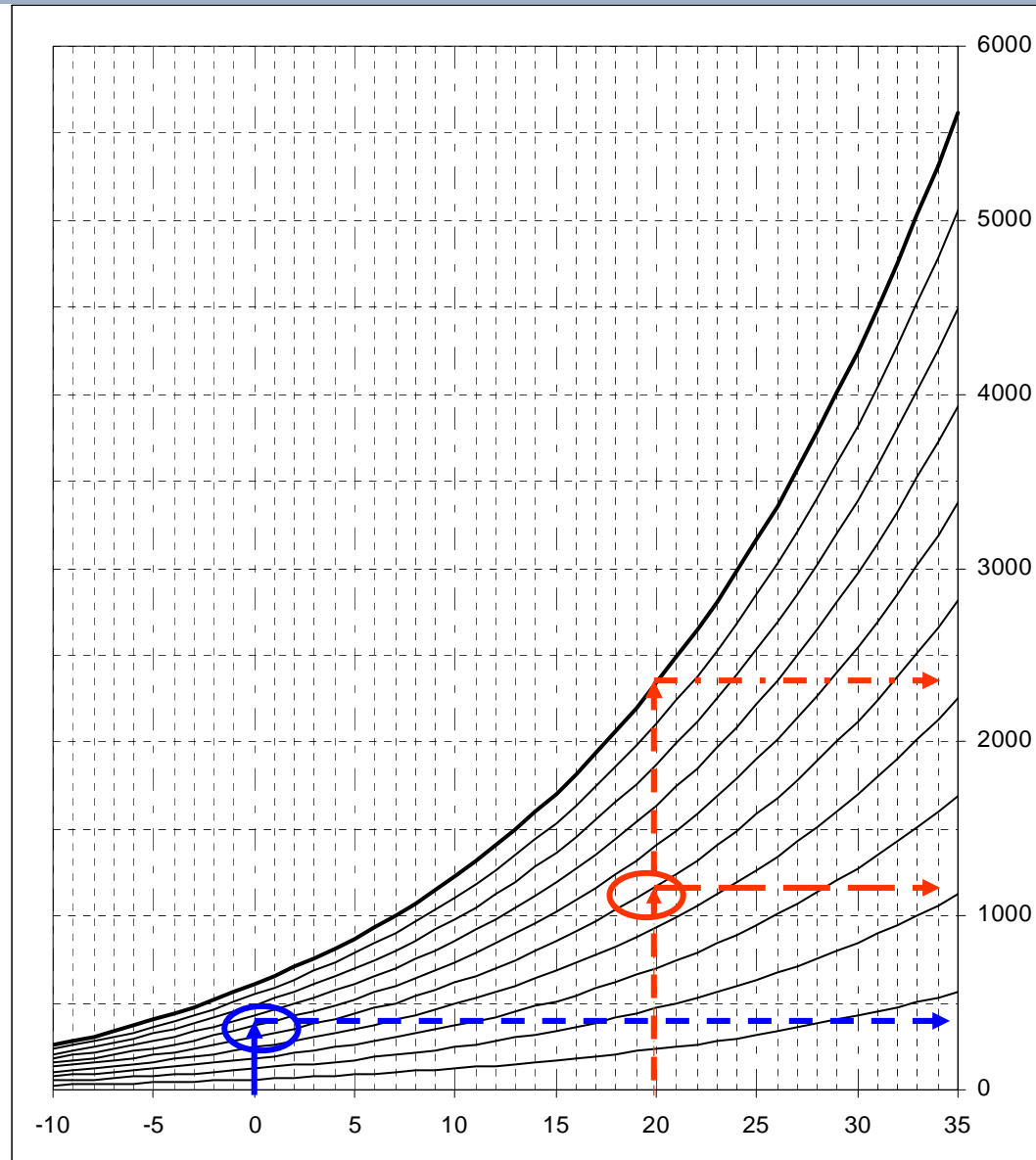
Psat= 611 Pa

con 75%

Pv=458 Pa

W=2,82 g/kg

EL AIRE EXTERIOR
ES "SECO"



TRATAMIENTO DEL AIRE (VENTILACIÓN)

Aire interior 20°C **Aire exterior 0°C**
Psat= 2337 Pa **Psat= 611 Pa**
con 50% **con 75%**
Pv=1168 Pa **Pv=458 Pa**
W=7,26 g/kg **W=2,82 g/kg**

Relación de mezcla 0,3

Aire resultante

$$T=0+(20-0)*0,3= 6^{\circ}\text{C}$$

$$Pv=458+(1168-458)*0,3=671 \text{ Pa}$$

$$Psat= 935 \text{ Pa}$$

$$Hr=671/935=72\%$$

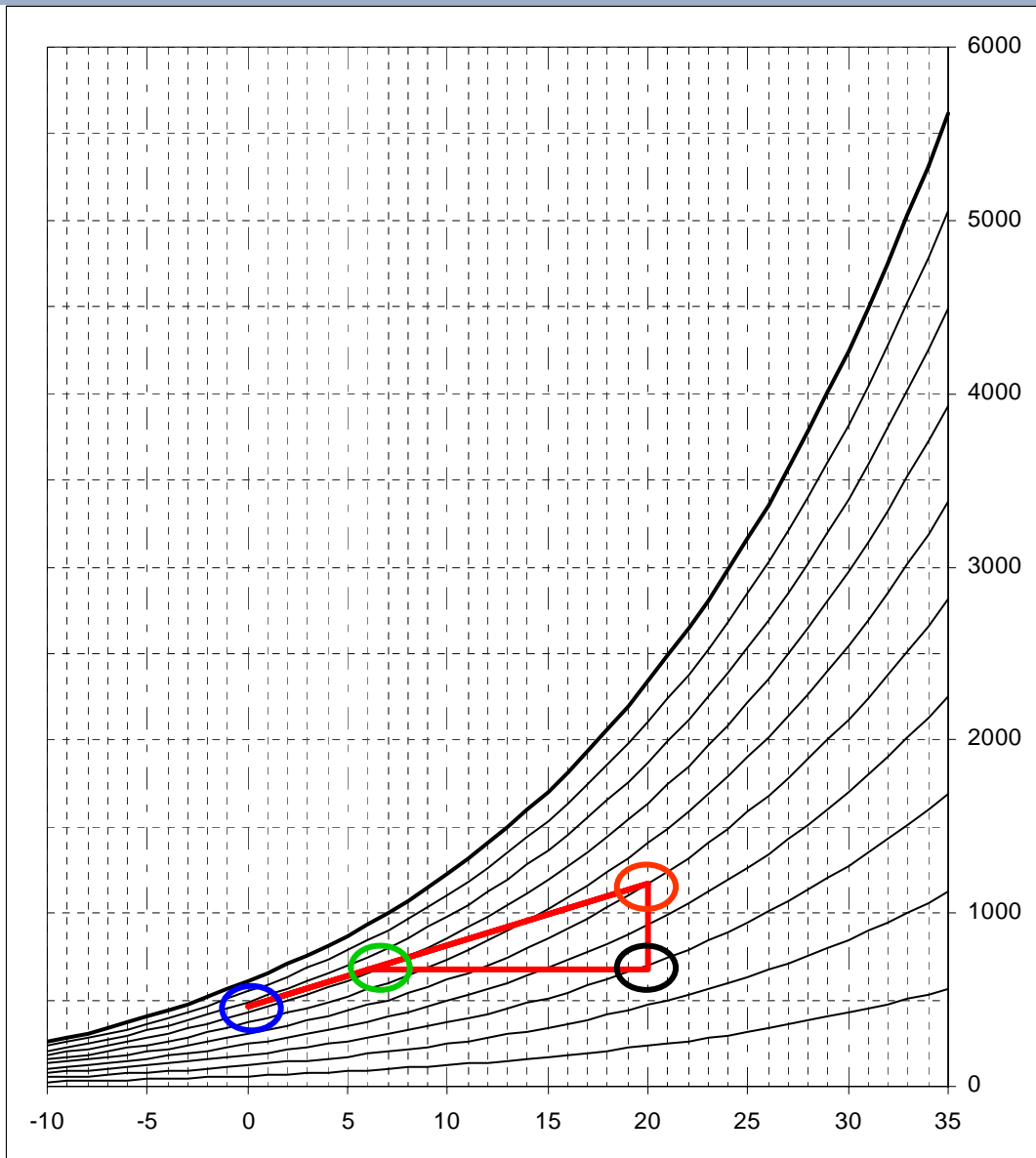
$$W=2,82+(7,26-2,82)*0,3=4,15 \text{ g/kg}$$

Recalentándolo a 20°C

$$Hr=671/2337=29\%$$

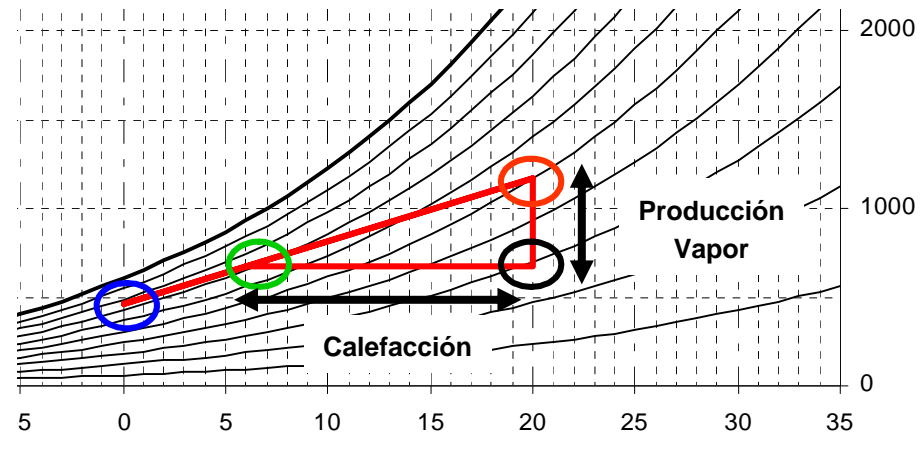
Producción vapor posible

$$7,26-4,15= 3,11 \text{ g}$$



CICLO DEL TRATAMIENTO DEL AIRE

La ventilación permite “desechar” el ambiente interior para poder seguir permitiendo el uso (producción de vapor) en condiciones salubres. Exceso de ventilación “sobre - enfría” el aire y obliga a un consumo mayor. Insuficiencia de ventilación provoca que la capacidad de admisión de vapor “nuevo” se reduzca (permite menor ocupación). Cuando no se calienta suficientemente la capacidad de admisión de vapor se reduce

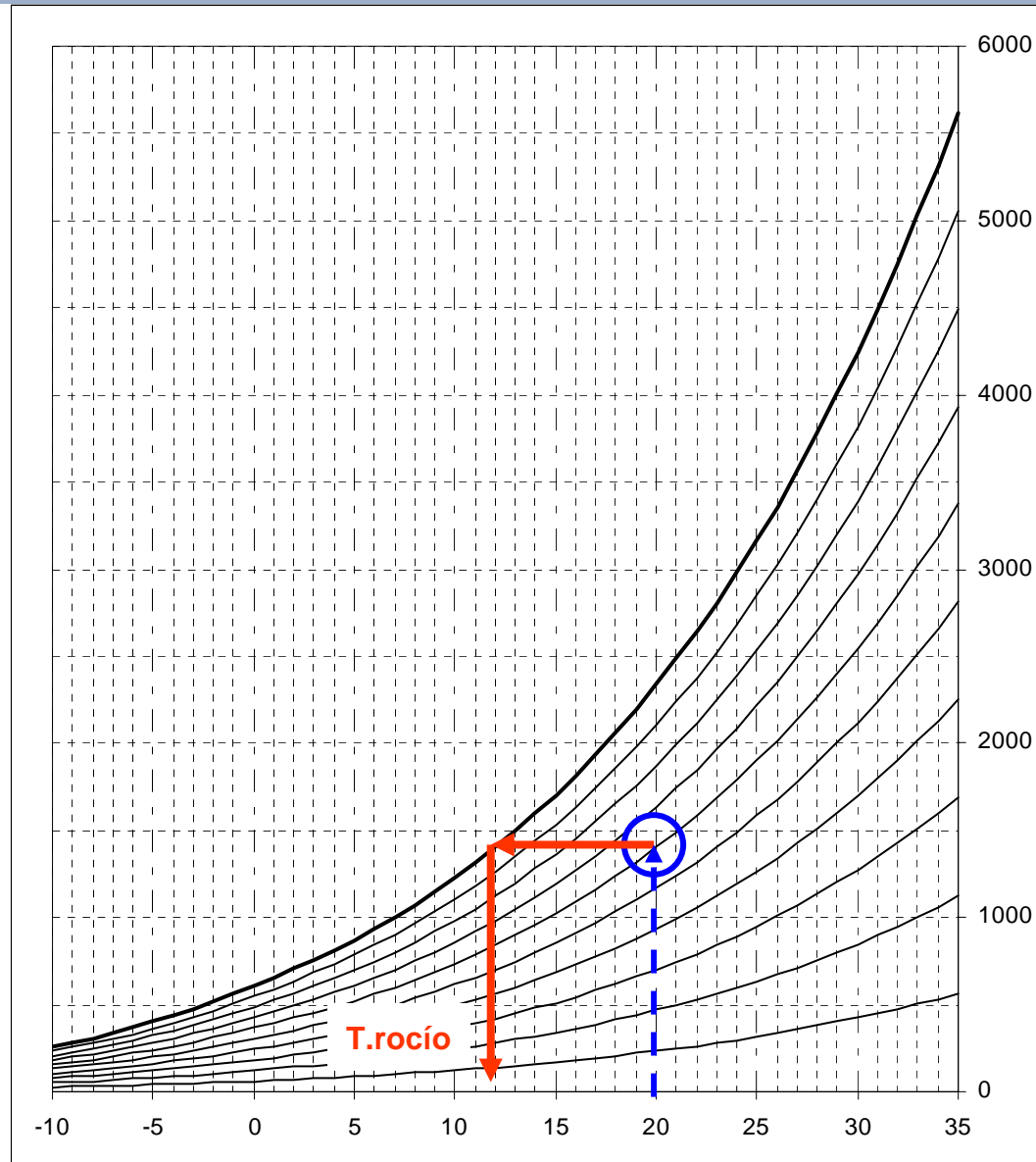


SE DEBE ADECUAR LA VENTILACIÓN / CALEFACCIÓN PARA MANTENER EL EQUILIBRIO DEL LOCAL

CONDENSACIONES SUPERFICIALES

Cuando el aire con una cierta humedad W se enfría (por contacto con una superficie fría) no puede contener tal cantidad de vapor y el exceso se transforma en agua líquida; se condensa.

A la temperatura a la que empieza a condensar se le denomina **Temperatura de Rocío**

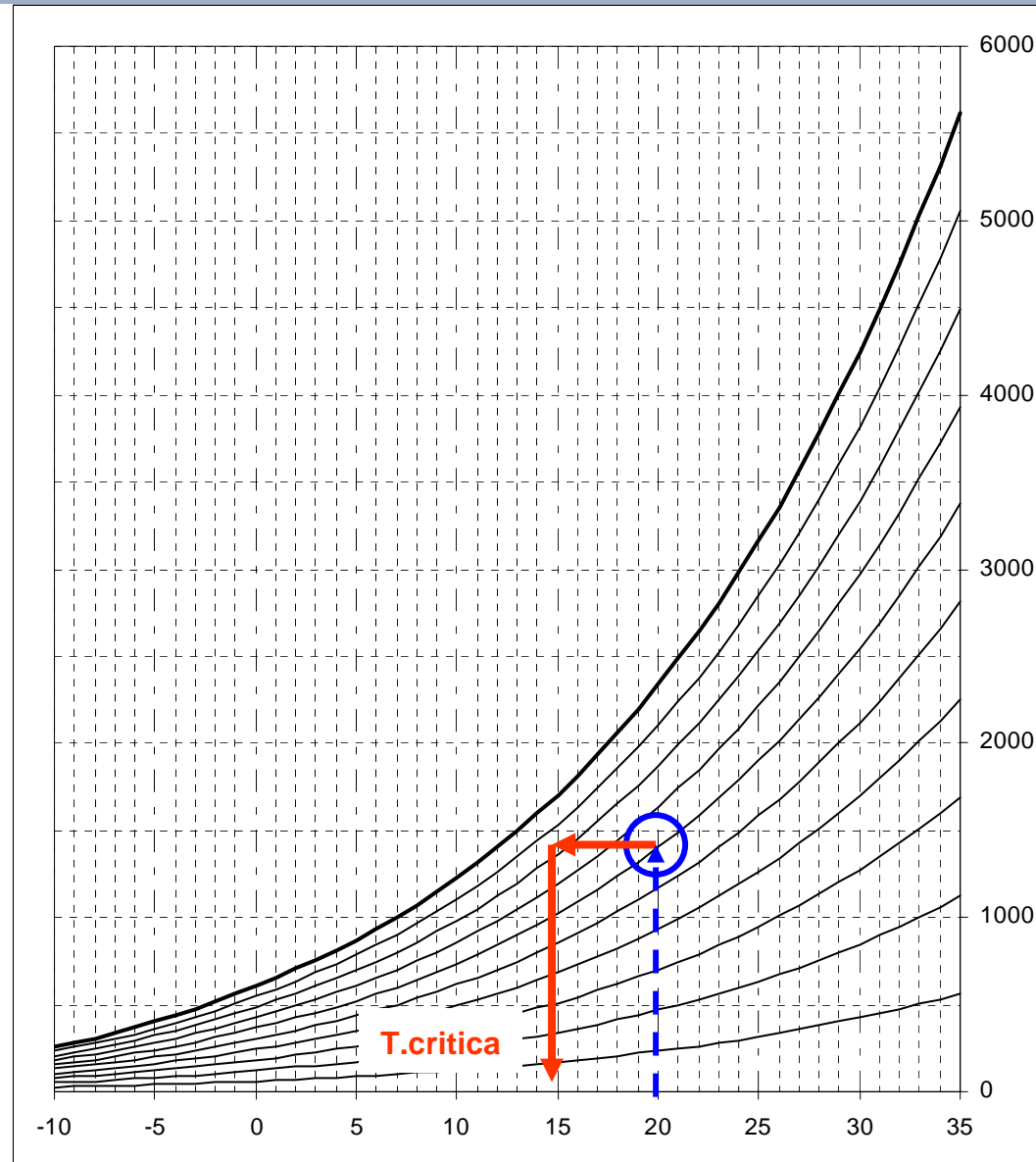


RIESGO FORMACIÓN DE MOHO

Para el riesgo de formación de moho basta con que la humedad relativa alcance el 80%.

Se determina la

Temperatura Crítica para la formación de moho



EVALUACIÓN ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS



Desde un punto de vista de formación de condensaciones / moho para evaluar un elemento constructivo basta con determinar su temperatura superficial mínima y compararla con la de rocío / crítica.

Si

$T_{si;min} > T. \text{ rocío / T. crítica}$ NO HAY RIESGO

Si

$T_{si;min} < T. \text{ rocío / T. crítica}$ RIESGO

LA EVALUACIÓN DEL RIESGO SE LIMITA A:

- Determinar las temperaturas límite según el uso del local (producción vapor; ventilación, calefacción...)
- Determinar las temperaturas superficiales en los elementos constructivos
- Comparar valores

ESTIMACIÓN HIGROMETRÍA INTERIOR

- a) espacios de clase de higrometría 5: espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías y piscinas;
- b) 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;
- c) 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.

G.1.2.2 Para el cálculo de condensaciones intersticiales

- 1 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:
 - a) clase de higrometría 5: 70%
 - b) clase de higrometría 4: 62%
 - c) clase de higrometría 3 o inferior: 55%
- 2 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.
- 3 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.

La higrometría del aire interior depende de:

- PRODUCCIÓN DE VAPOR “G” kg/h”
- VENTILACIÓN “n·V” m³/h
- CLIMATOLOGÍA EXTERIOR “P_e”

$$\Delta P = \frac{G \cdot 462 \cdot (273 + T_m)}{n \cdot V}$$

$$P_i = P_e + \Delta P$$

Ejemplo:

Vivienda 270 m³; tasa renovación n=0,5; Producción vapor=0,6 kg/h

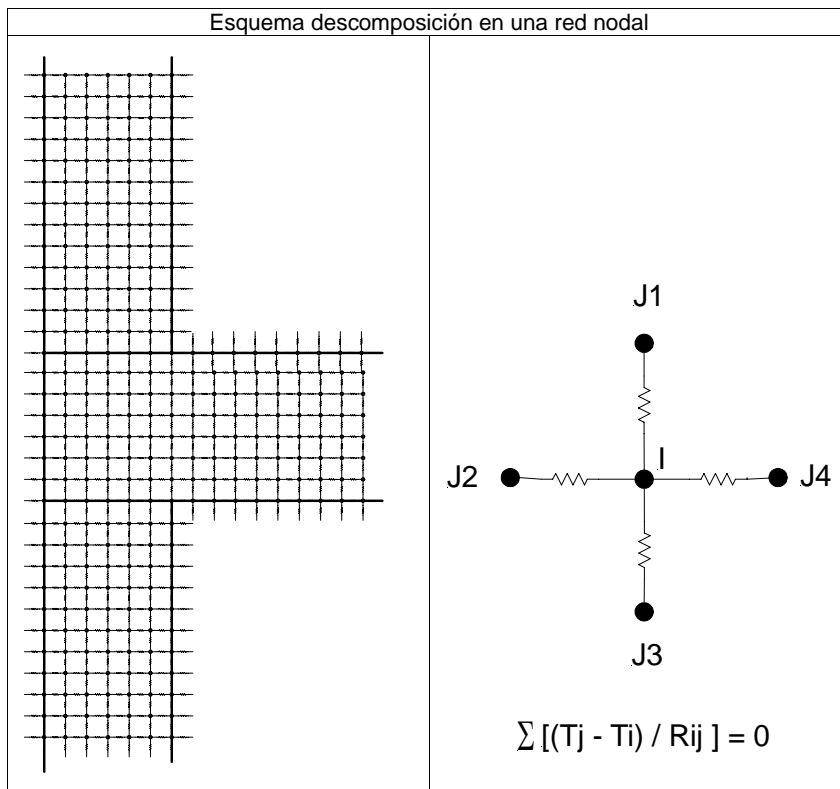
P_e= 458 Pa (0°C;75%); θ_i=20°C

P_i=458+0,6*462*(273+10)/(0,5*270)=1039 Pa

H_{ri}=1039/2337= 0,44

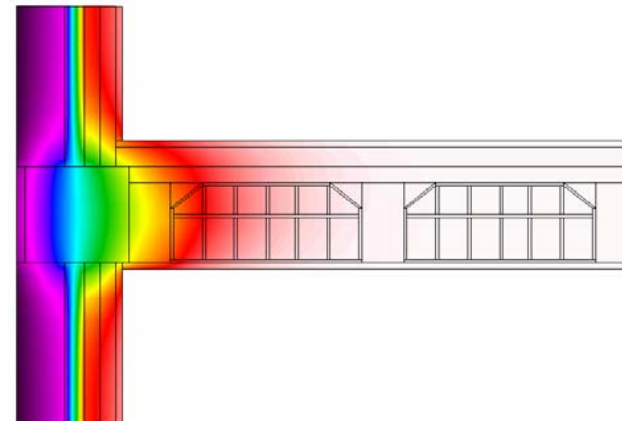
DETERMINACIÓN T. SUPERFICIAL

Normas EN 10211 y EN 14683.
Utilización de Therm o Kobra



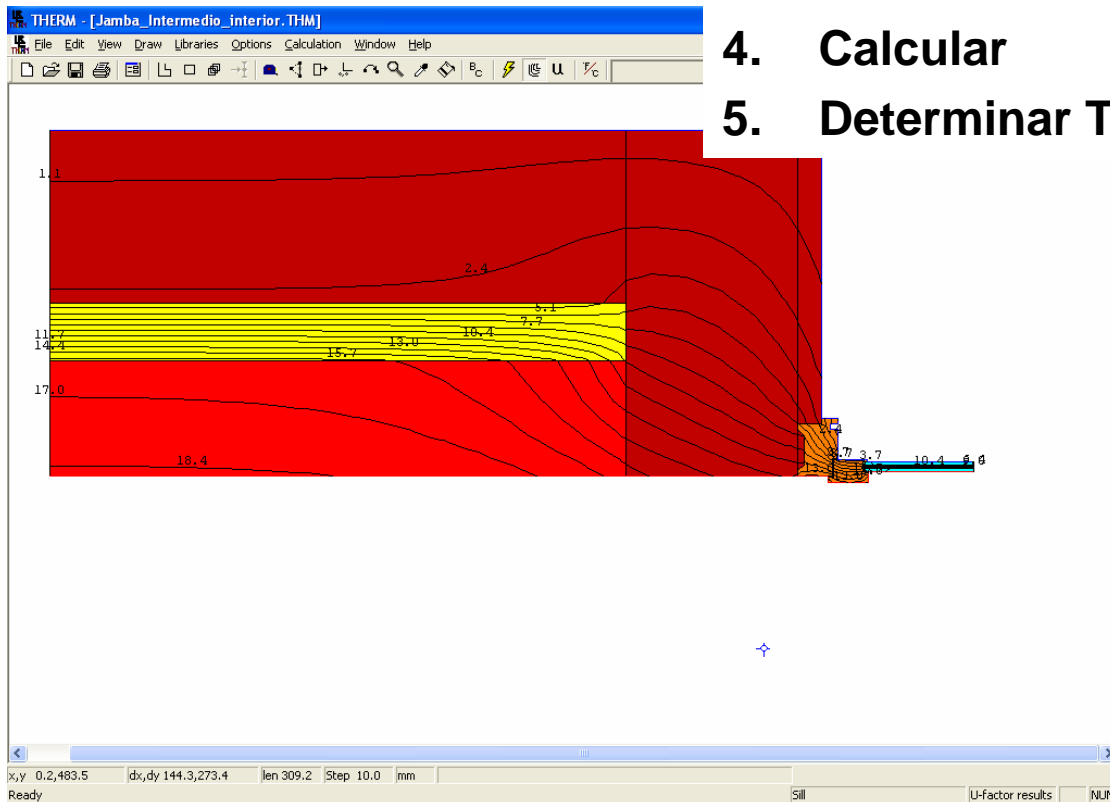
$$L_{2D} = U * A + \Psi * I$$

$$f_{Rsi} = (\theta_{Si} - \theta_e) / (\theta_i - \theta_e)$$

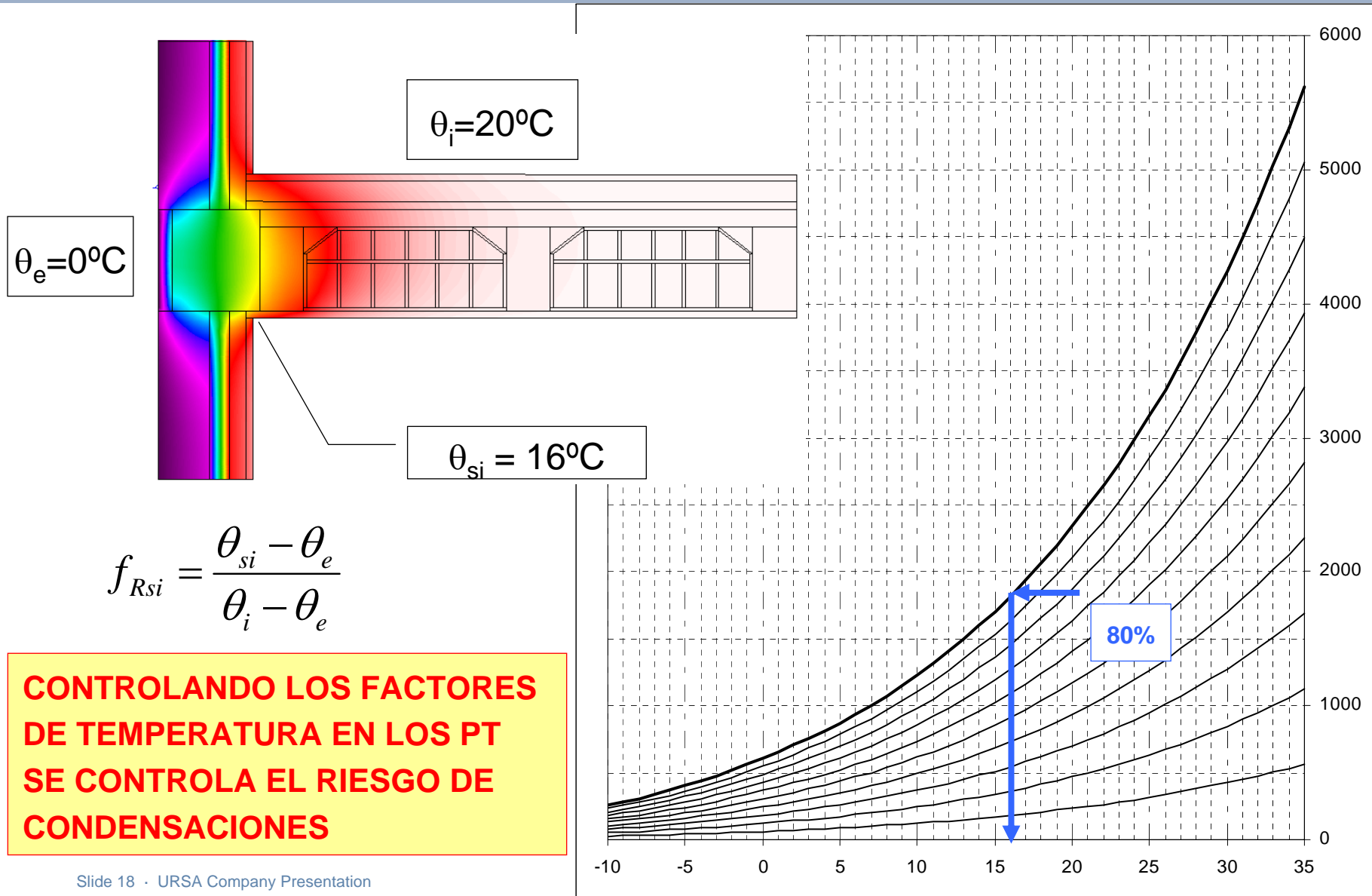


UTILIZACIÓN THERM

1. “Dibujar” el modelo geométrico
2. Asignar a cada bloque unas características
3. Establecer las condiciones de “contorno”
4. Calcular
5. Determinar $T_{si;min}$ y f_{RSI}



EVALUACIÓN ELEMENTOS



2.2 Condensaciones

- 1 Las condensaciones superficiales en los *cerramientos y particiones interiores* que componen la *envolvente térmica* del edificio, se limitarán de forma que se evite la formación de mohos en su superficie interior. Para ello, en aquellas superficies interiores de los cerramientos que puedan absorber agua o susceptibles de degradarse y especialmente en los puentes térmicos de los mismos, la humedad relativa media mensual en dicha superficie será inferior al 80%.

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

MINIMIZAR RIESGO CONDENSACIÓN SUP.



SE DEBE:

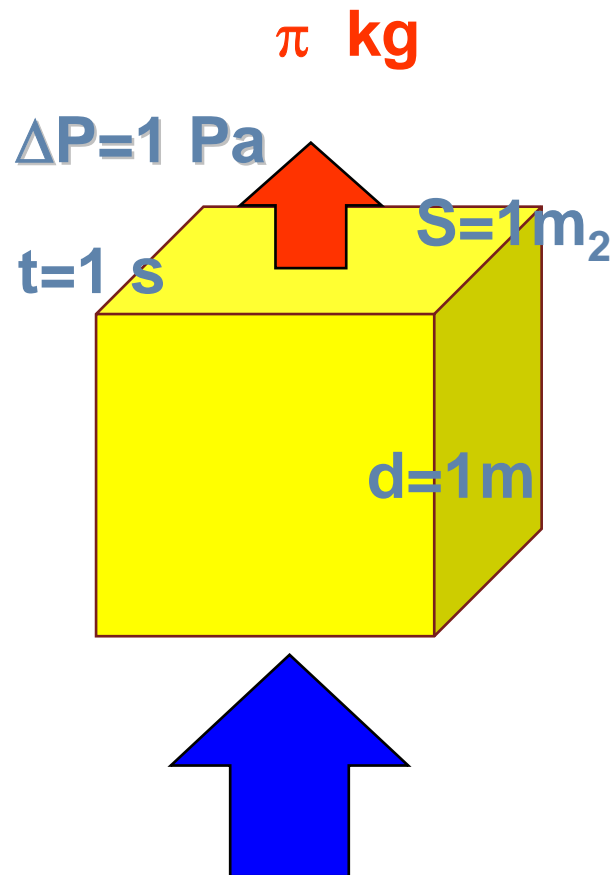
- ▶ **AUMENTAR T_{sup} = MEJORAR EL AISLAMIENTO (especialmente puentes térmicos)**
- ▶ **REDUCIR LA HIGROMETRÍA = DISMINUIR LA PRODUCCIÓN DE VAPOR Y/O MEJORAR LA VENTILACIÓN**



TRANSFERENCIA DE CALOR Y HUMEDAD EN LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Condensaciones Intersticiales

PERMEABILIDAD AL VAPOR π



La facilidad que presenta el material en dejarse atravesar por el vapor de agua.

Cantidad de vapor que atraviesa el material de:

- Espesor unidad
- Superficie unidad
- Diferencia de presión unidad
- Tiempo Unidad

Concepto análogo al de
conductividad térmica λ

FACTOR DE RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DEL VAPOR (μ):

Indica cuantas veces es mas permeable al vapor el aire en relación al material

$$\mu = \pi_{(\text{aire})} / \pi_{(\text{material})}$$

$$\pi_{(\text{aire})} = 0,09 \text{ g}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{mmHg}) = 1,9 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m})$$

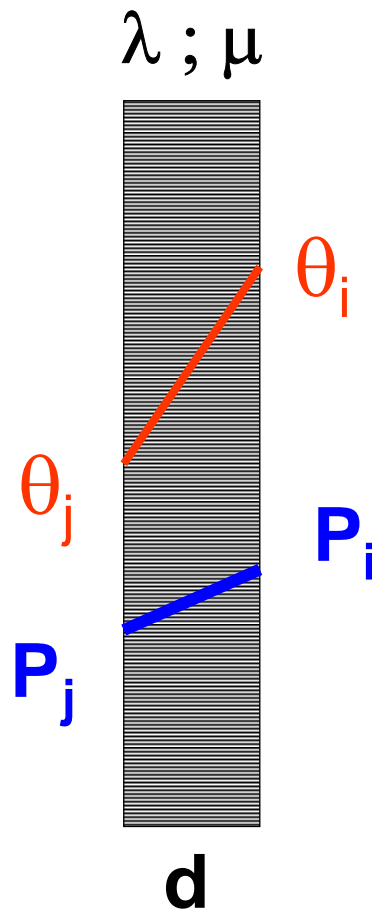
RESISTENCIA A LA DIFUSIÓN DEL VAPOR (Z)

Indica la dificultad que opone una capa de un material en dejarse atravesar por el vapor Z se expresa en $\text{m}^2\cdot\text{h}\cdot\text{Pa}/\text{mg}$

$$Z = d / \pi$$

Se puede expresar mediante el espesor de aire equivalente S_d se expresa en m

$$S_d = \mu d$$
$$S_d = 0,675 \cdot Z$$



TRANSFERENCIA DE CALOR:

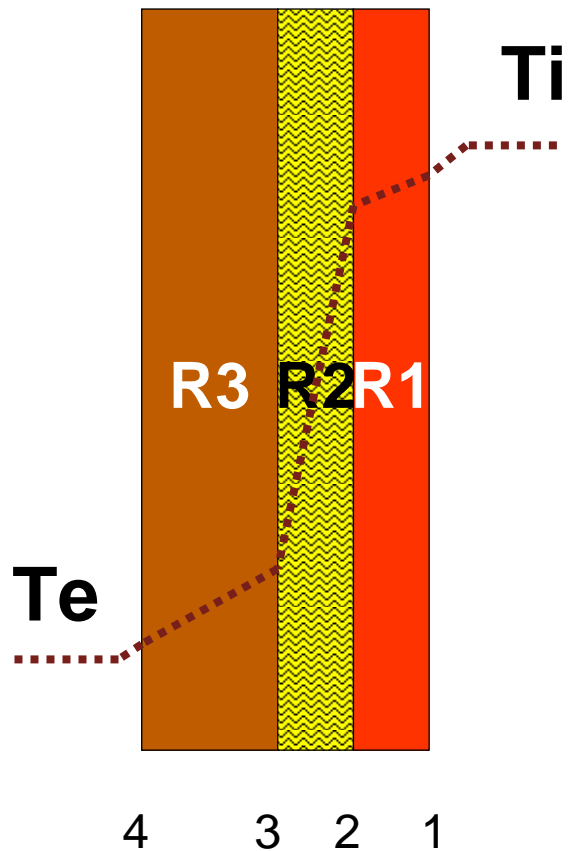
$$q = \frac{\Delta\theta}{R}$$

TRANSFERENCIA DE VAPOR:

$$g = \frac{\Delta P}{Z} = \pi_{air} \frac{\Delta P}{Sd}$$

Conocidas las temperaturas / presiones en una capa se pueden calcular las de la otra conociendo d ; λ y μ (función lineal de Rt y Sd)

Evolución de Temperaturas



$$q = \frac{T_i - T_e}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_3 + R_{se}}$$

$$T_1 = T_i - q * R_{si}$$

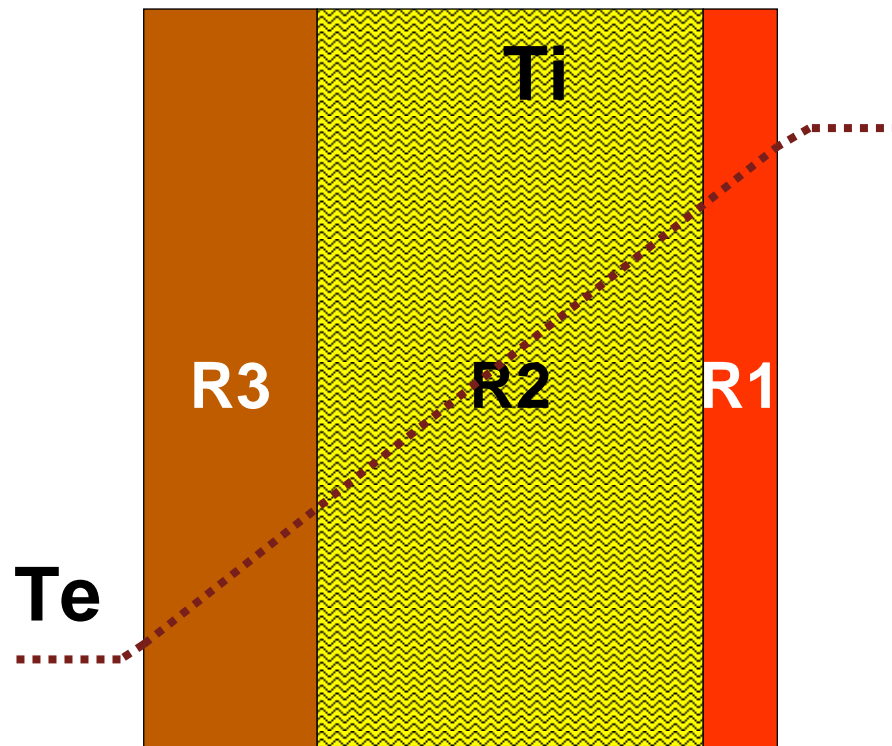
$$T_2 = T_1 - q * R_1$$

$$T_3 = T_2 - q * R_2$$

.....

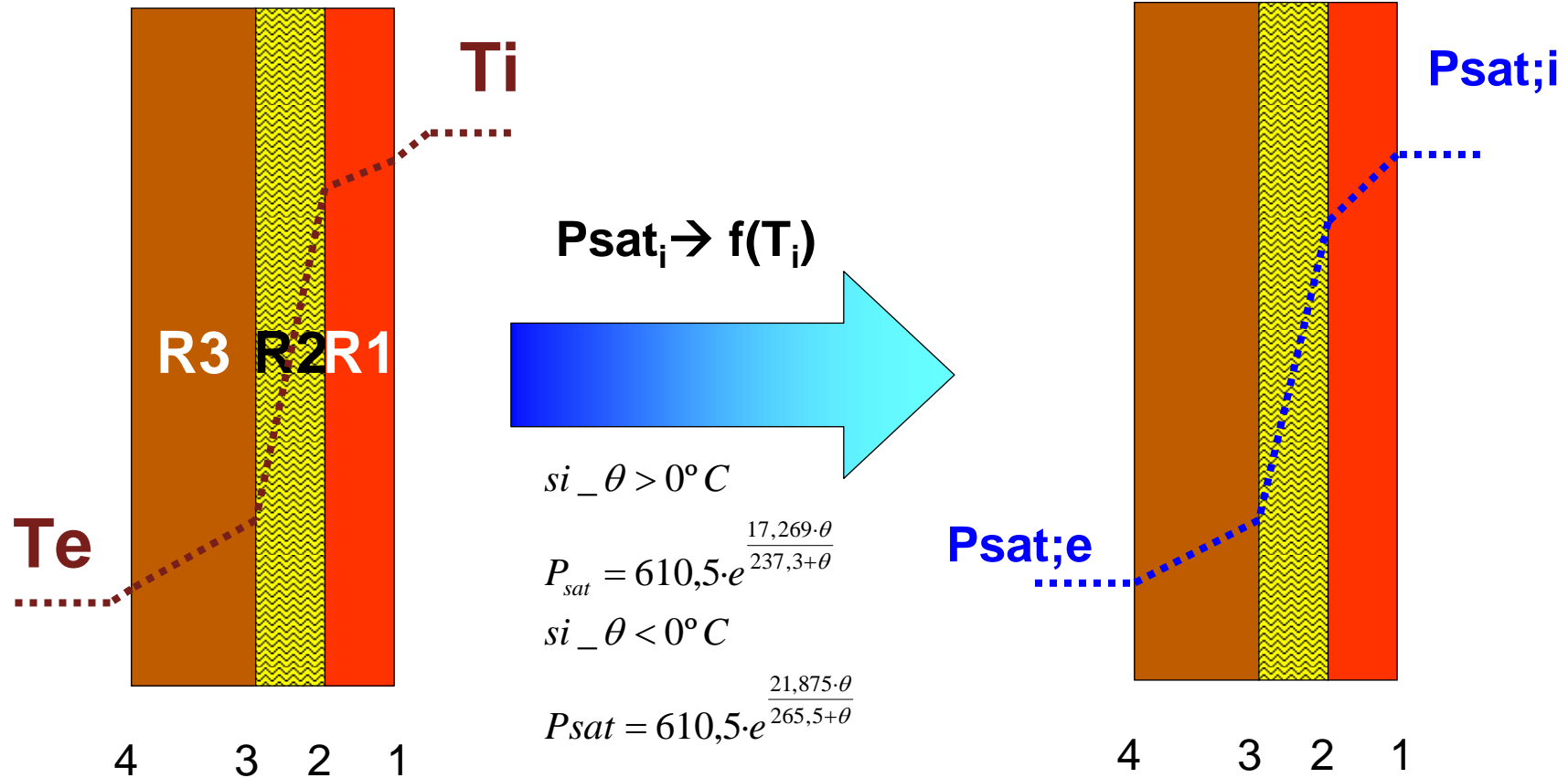
$$T_4 = T_3 - q * R_3$$

Evolución de Temperaturas (gráficamente)

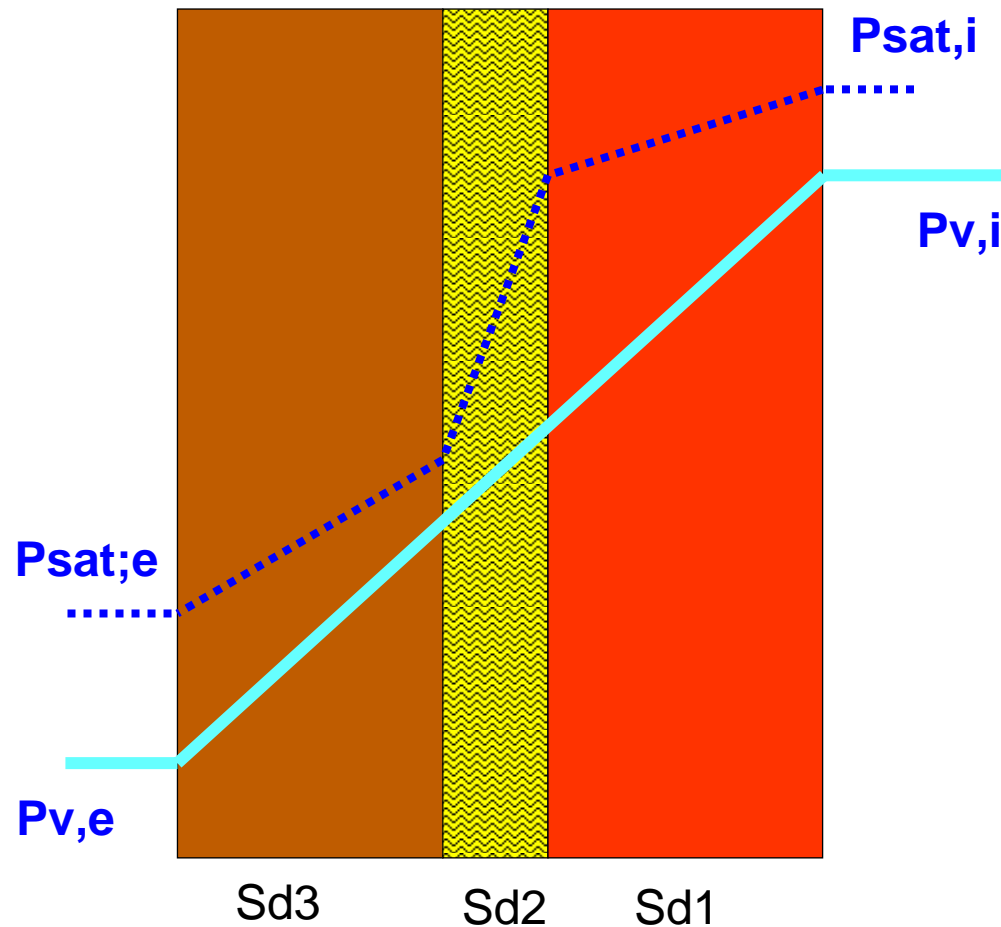


Al usar en el grafico para el eje X los valores de R_t la línea de temperaturas es recta

Evolución Presiones de saturación



Presión saturación y vapor (método gráfico)



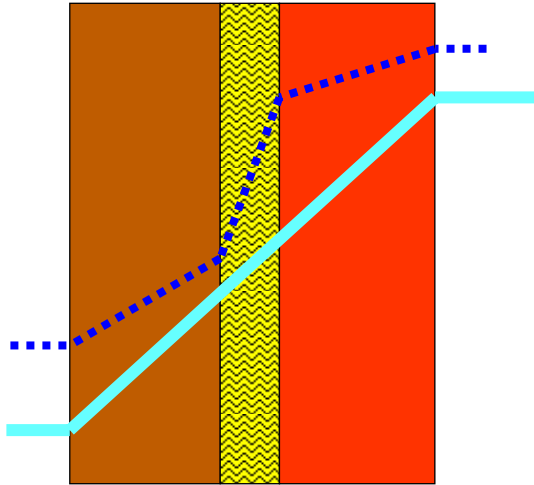
Construir un esquema con los valores S_d como eje X y situar las presiones de saturación calculadas anteriormente

Al usar en el grafico para el eje X los valores de S_d la línea de presión de vapor es recta (excepto si existe condensación).

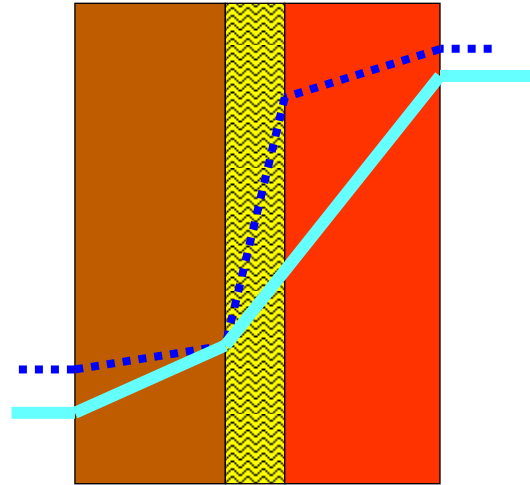
Se trata de trazar la “envolvente” que partiendo de $P_{v,i}$ alcance a $P_{v,e}$ respetando la línea de presiones de saturación



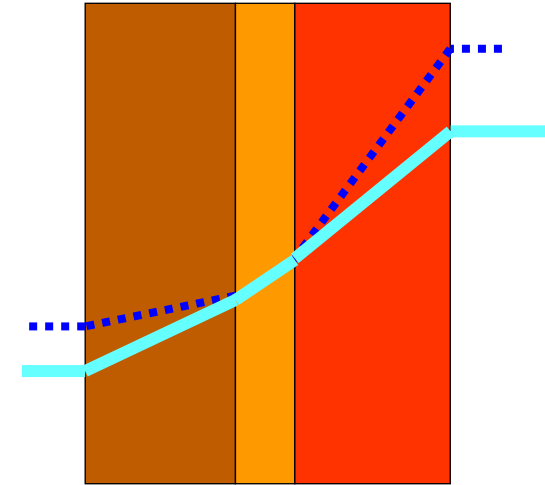
Situaciones posibles



No condensación

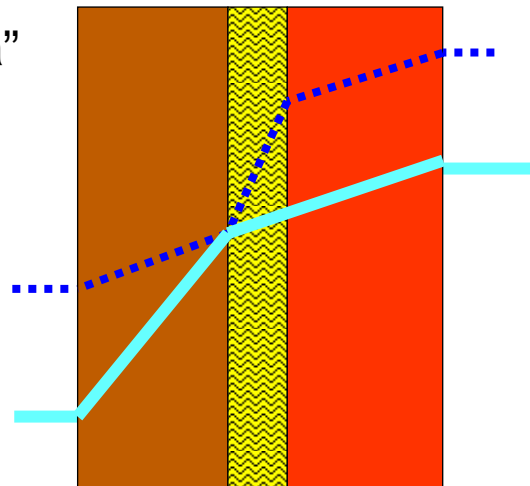


Plano de condensación

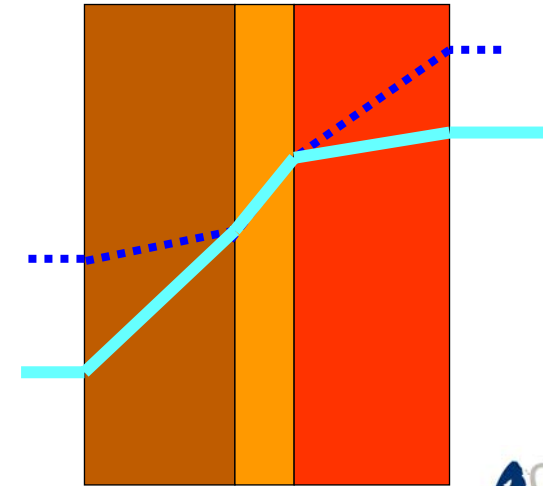


Zona de condensación

Si condensación "previa"

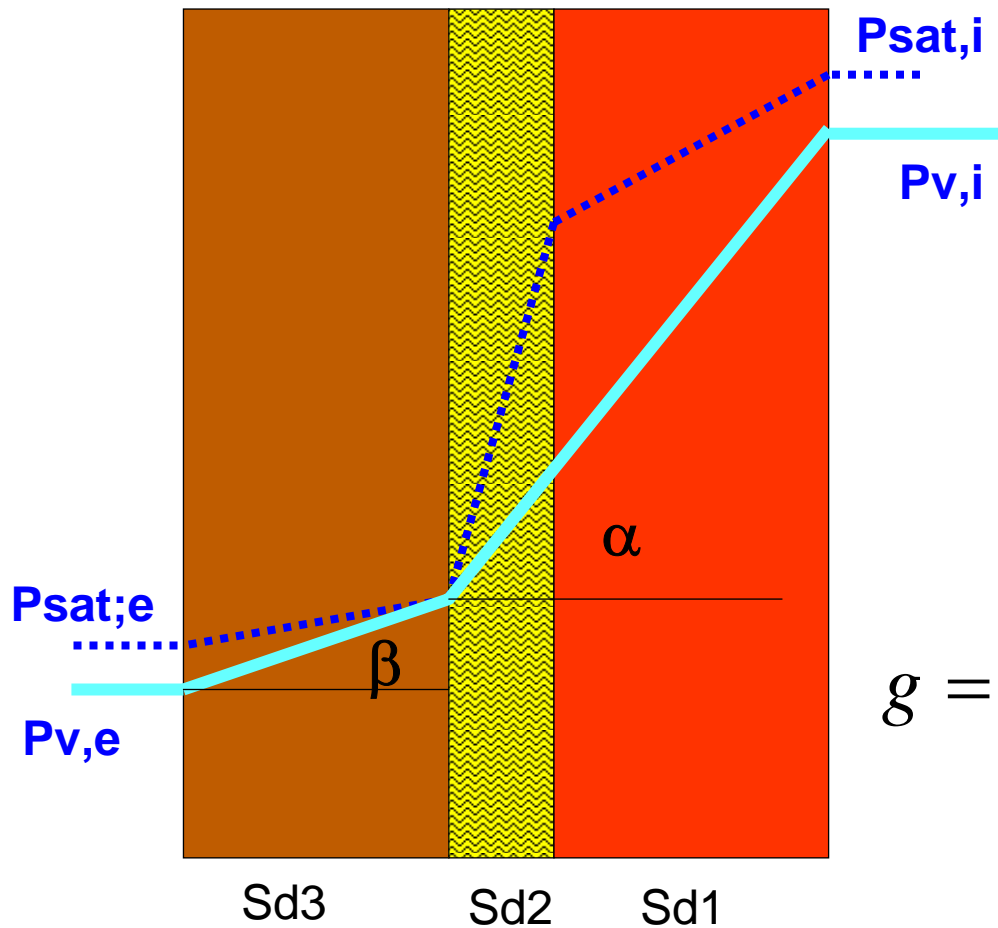


Evaporación desde plano



Evaporación desde zona

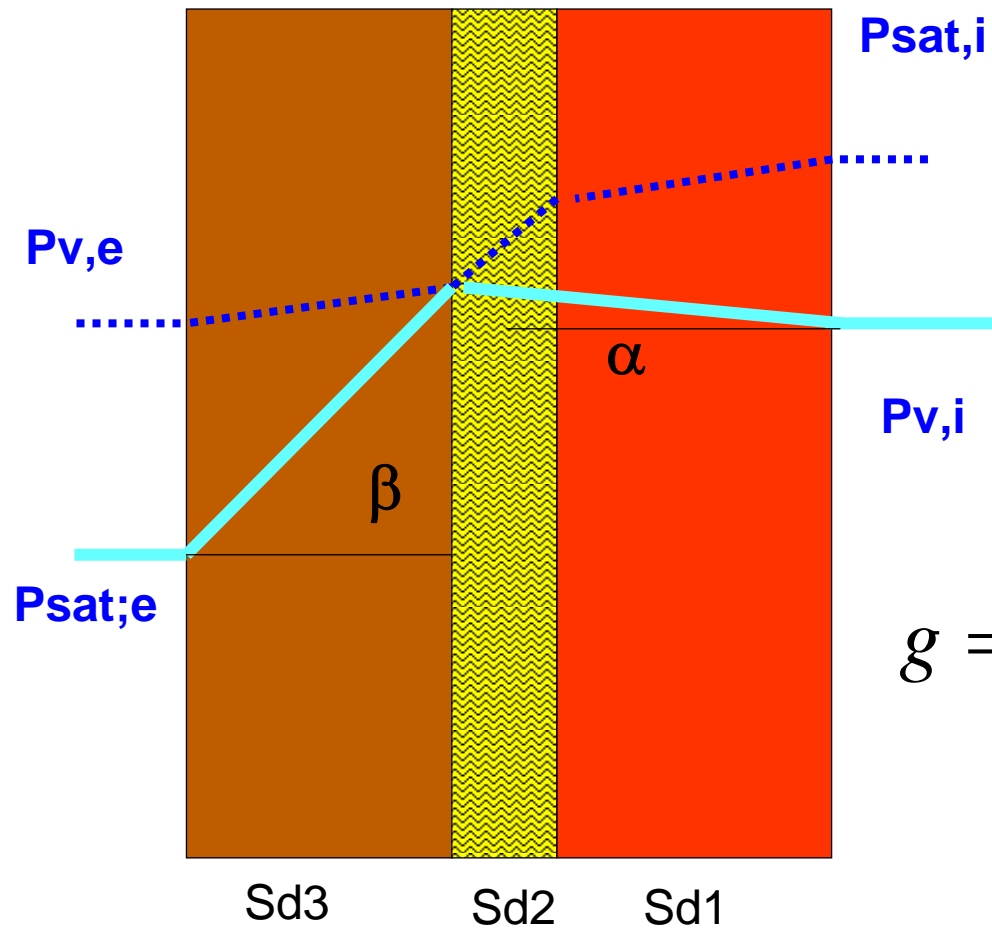
Calculo Cantidad "Condensada"



$$g = \pi_{air} \cdot (\tan(\alpha) - \tan(\beta))$$



Calculo Cantidad “Evaporada”



$$g = \rho_0 \cdot (\tan(\alpha) - \tan(\beta))$$

1ª.- Opción

Disponer de una barrera de vapor en la cara “caliente”

2ª.- Opción

Condensación nula en el mes de Enero

3ª.- Opción

La condensación producida en los meses “fríos” es capaz de ser evaporada en los meses “calidos”

Efectuar el calculo para cada mes.

- **Evaluar la cantidad “condensada mensual” y acumulada a lo largo del año.**
- **Evaluar las posibilidades de evaporación de las cantidades condensadas (secado)**

Herramienta de calculo



ANALISIS HIGROTÉRMICO DE ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS
CALCULO DE CONDENSACIONES INTERSTICIALES
 Metodo mensual prescrito en EN 13788

URSA Grupo Uralita

Emplazamiento: Lugo

Temp.Int.(invierno): 18 °C

Temp.Int.(verano): 23 °C

Higrometria: Viviendas baja ocupación

Cerramiento: FACHADAS

© josep sole

Condensación máxima: Un plano con condensación mayor de 500 g/m2

Posibilidad evaporación: Ok

Material	Espesor m	Lambda W/m-K	η (--)	R.termica m2-K/W	Sd m
capa 1 (Interior) ENLUCIDOS / Enlucido de y	0,015	0,400	6	0,04	0,09
capa 2 FAB.DE LADRILLO / Tabiqu	0,05	0,444	10	0,11	0,50
capa 3 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,01	0,036	1	0,28	0,01
capa 4 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,0075	0,036	1	0,21	0,01
capa 5 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,0075	0,036	1	0,21	0,01
capa 6 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,0075	0,036	1	0,21	0,01
capa 7 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,0075	0,036	1	0,21	0,01
capa 8 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,0075	0,036	1	0,21	0,01
capa 9 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,0075	0,036	1	0,21	0,01
capa 10 URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P2052;M0022)	0,0075	0,036	1	0,21	0,01
capa 11 MORTEROS / Mortero de cemento o cal 1000 < d < 1250	0,01	0,550	10	0,02	0,10
capa 12					
capa 13					
capa 14					
capa 15					
capa 16					
capa 17					
capa 18					
capa 19					
capa 20					
capa 21					
capa 22 (Exterior) FAB.DE LADRILLO / 1 pie LP métrico o catalán 60 mm< G < 80 mm	0,14	0,634	10	0,22	1,40

El espesor debe ser menor para que $Rt \leq 0,25 \text{ m}^2 \cdot \text{k/W}$

- Emplazamiento
- Temperaturas internas
- Higrometria (uso)

Tipo Cerramiento

Capas

Espesor capa

Advertencias
subdivisión capas

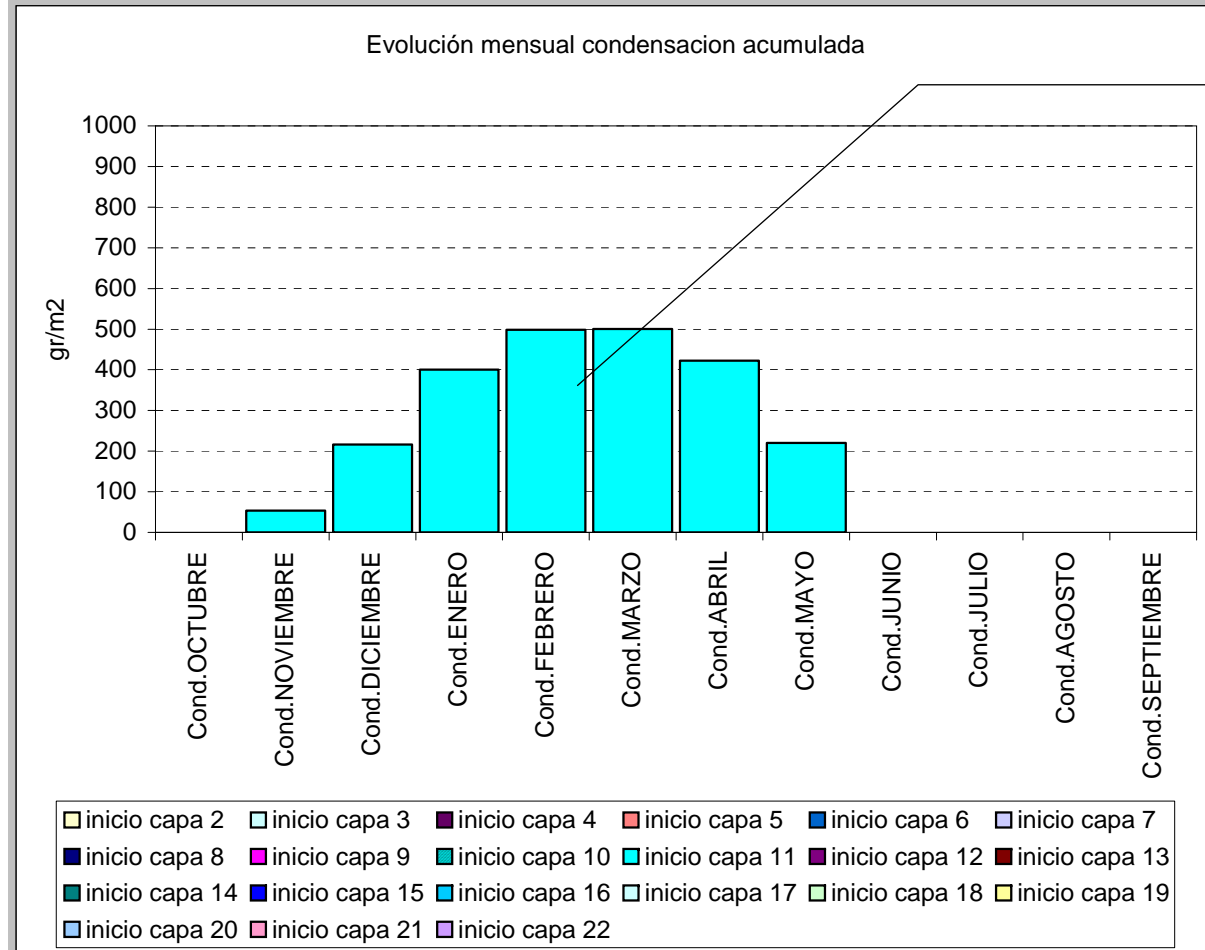
Resultados
Cantidad maxima
Posibilidad evaporación



Condensación Acummulada



josep sole



Condensación acumulada y Plano donde se produce

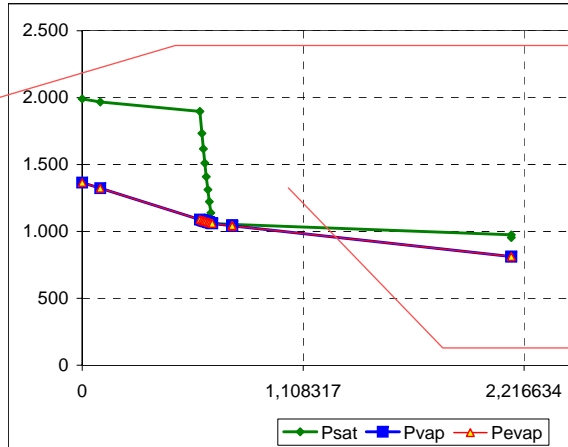
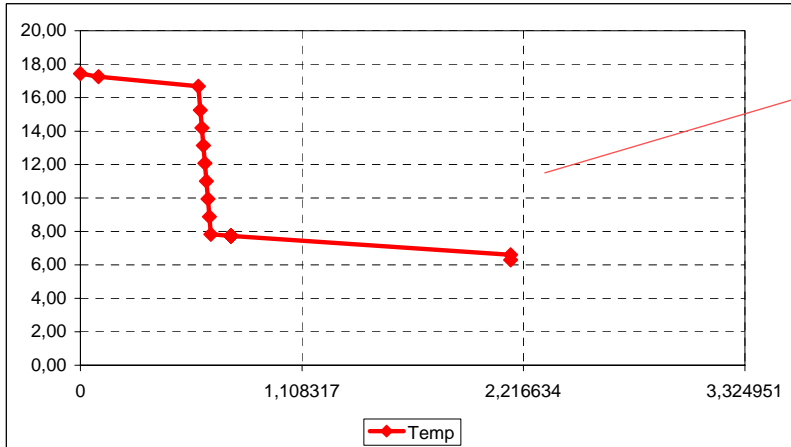


Detalle calculos mensuales



DICIEMBRE										Temp		Hr		Pvap		Delta P		Psat	
Exterior	6,3		85		811		954,22												
Interior	18		66		1.366		554,85		2062,8										
Periodo calculo	31 dias		2.678.400 seg																
	Espesor	Lambda	η	R.termica	Sd	X	Temp	Psat	Tan(int)	Tan(ext)	Tan(cen)	Pc	Pvap	Cond.Inicial	P.evap	Pe	Pevap		
capa 1	ENLUCIDOS / Enlucido de yeso d < 1	0,015	0,4	6	0,04	0,09	17,25	1,967	-6,682	561			1,324	0,00			1,324		
capa 2	FAB.DE LADRILLO / Tabique de LH s	0,05	0,44444	10	0,11	0,50	16,67	1,897	-900	695			1,089	0,00			1,089		
capa 3	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,01	0,036	1	0,28	0,01	15,26	1,733	-612	594			1,084	0,00			1,084		
capa 4	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,0075	0,036	1	0,21	0,01	14,20	1,618	-415	522			1,081	0,00			1,081		
capa 5	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,0075	0,036	1	0,21	0,01	13,13	1,510	-235	455			1,077	0,00			1,077		
capa 6	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,0075	0,036	1	0,21	0,01	12,07	1,409	-68	390			1,074	0,00			1,074		
capa 7	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,0075	0,036	1	0,21	0,01	11,01	1,313	84	330			1,070	0,00			1,070		
capa 8	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,0075	0,036	1	0,21	0,01	9,95	1,223	224	272			1,066	0,00			1,066		
capa 9	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,0075	0,036	1	0,21	0,01	8,89	1,139	352	217			1,063	0,00			1,063		
capa 10	URSA GLASSWOOL (P1281;P0081;P	0,0075	0,036	1	0,21	0,01	7,82	1,069	470	166	0,653		1,059	53,49	1,059	0,65	1,059		
capa 11	MORTEROS / Mortero de cemento o	0,01	0,55	10	0,02	0,10	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 12	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 13	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 14	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 15	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 16	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 17	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 18	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 19	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 20	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 21	0	0	0	0	0,00	0,00	7,73	1,053	416	173			1,043	0,00			1,043		
capa 22	FAB.DE LADRILLO / 1 pie LP métrico	0,14	0,63415	10	0,22	1,40	2,1525	6,61	975	182			811				811		
Rse					0,06		2,1525	6,30	954	191			811				811		
TOTAL					2,30	2,15			470	166									

Calculos numericos



Garfco temperaturas

Garfco presiones vapor / satraci3n

© josep sole



CONCLUSIONES



- El análisis del riesgo de formación de condensaciones intersticiales permite determinar cuando la barrera de vapor es necesaria / innecesaria.
- La posición relativa de las capas (en especial respecto al aislante) es determinante.
- Las capas “interiores” (en relación al aislante) deben ser lo mas resistentes al vapor posible, las capas “exteriores” deberían ser lo más permeables posibles al vapor.
- La cantidad de aislamiento (espesor) influye poco en el riesgo de formación de condensaciones.
- El criterio de ausencia total de condensación es “excesivo” y penaliza soluciones constructivas correctas.
- El único criterio condensación susceptible de evaporarse es “insuficiente” por ser poco discriminante.



¿...?



www.ursa.es

www.telefonica.net/web2/josepsolebonet

Muchas Gracias!



URSA

Grupo Uralita

www.ursa.es