

## A permeabilidade ao vapor de água $\delta_p$ , a permeância $W_p$ e o factor de resistência $\mu$ .

### Introdução.

Em instalações com temperatura inferior á do ambiente, não só existe o risco da condensação, mas também o vapor de água pode penetrar no isolamento provocando sérios danos na instalação e

reduzindo as características do material isolante.

Nesta Informação Técnica, estudaremos os conceitos básicos sobre a permeabilidade ao vapor de água, deixando para depois a

influência que a humidade tem no coeficiente de condutibilidade e, portanto, no isolamento.

### Conceitos gerais.

Como aproximação e de forma esquemática, descreveremos os seguintes conceitos:

A pressão atmosférica é a “soma” das pressões parciais dos diferentes gases que a compõem; ainda que variável em função da altitude e do clima, tem um valor geralmente aceite de 760 mm de Hg (11325 Pa).

O vapor de água contém uma pressão parcial ao ambiente, em função da concentração, que é enumerada em percentagem e á qual damos o nome de humidade relativa.

O valor máximo, os 100%, é o ponto de saturação ou de orvalho. Como se pode ver na Tabela 1, o

Tabela 1. Pressão máxima do vapor de água para diferentes temperaturas.

°C	mm de Hg	kg/cm <sup>2</sup>	Pascals
0	4.58	0.0062	616.6
5	6.51	0.0088	867.9
10	8.94	0.0121	1 191.9
15	12.67	0.0172	1 689.2
20	17.50	0.0238	2 333.1
40	55.10	0.0749	7 346.1

conteúdo máximo de humidade varia com a temperatura.

Ao analisar a tabela, podemos deduzir que, se num compartimento estanque, com o ambiente saturado e a 10 °C, aumentarmos a sua temperatura de 20 °C, teremos uma humidade relativa de:

$$HR = 1191.1 / 2333.1 = 51\%$$

Concentrando-nos só na influência da pressão parcial do vapor de

água, se um recinto similar ao anterior, também a 20 °C, mas com a HR de 75% (pressão parcial de 2333.1 . 0.75 = 1749.8) e o arrefecermos a 10 °C, produz-se condensação de uma parte do vapor de água e uma queda de 1749.8–1 191.9 = 557.9 Pa, que provocaria um fluxo de vapor, se existisse alguma parede “permeável”.

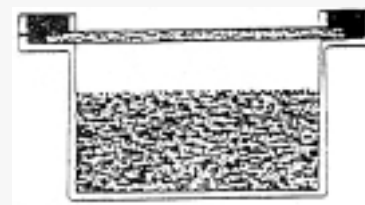
### Permeabilidade ao vapor de água.

Para evitar o problema do exemplo anterior no caso de uma instalação, o isolamento deve conter uma eficiente barreira de vapor.

Antes de estudar definições e fórmulas sobre o fluxo de vapor de água, digamos que são similares às do fluxo de calor e que o

equivalente à condutibilidade é a permeabilidade.

A permeabilidade ao vapor de água explicá-la-emos recorrendo à Fig. 1 (um esquema de como se obtém o seu valor segundo a UNE 92226) e as unidades em que normalmente se dava:



$$\frac{g \cdot cm}{m^2 \cdot dia \cdot mm Hg}$$

Fig. 1.

Podemos dizer que a permeabilidade ao vapor de água, é a quantidade de vapor (gramas), que passa por unidade de superfície ( $m^2$ ), de um material de unidade de espessura (cm), por unidade de tempo (dia), quando entre as suas paredes existe uma diferença de pressão unitária (mm Hg).

Mas, ao analisar as unidades dadas em (1), comprovamos que grama, centímetro, dia e milímetro de mercúrio, não são unidades aceites na normalização internacional. O feito de termos encontrado publicadas mais de vinte unidades cremos que supõe um fraco favor quanto à comparação de resultados, o que, indirectamente, se repercute no esclarecimento deste conceito.

A norma ISO 9346, aceite como possível norma europeia, e já traduzida para espanhol como UNE 92001 Parte 2, dá o seguinte símbolo e unidades para a permeabilidade ao vapor de água:

Símbolo:  $\delta_p$

Unidades:  $kg/(m \cdot s \cdot Pa)$

Com o inconveniente dos valores dados nestas unidades serem tão pequenos, que, inclusive, outra norma ISO (1663) prefere usar um submúltiplo do kg, dando o  $ng/(m \cdot s \cdot Pa)$  e a UNE 92225 de ensaio para a determinação da permeabilidade ao vapor de água em coquilhas pelo método do desumidificador, por razões práticas, fixa o  $kg/(m \cdot h \cdot Pa)$ .

Para relacionar os valores nas diferentes unidades, preparámos a Tabela n.º 2, na qual constam as unidades mais díspares, agregando logo uma relação de conversões simples.

Esta tabela de conversão está comparada com outras publicadas (exemplo BS 4370 parte 2), mas é mais ampla e cremos que mais

precisa. A exactidão de algumas conversões pode-se melhorar tendo em conta que:

$$1 \text{ Pa} = 0.00750062627 \text{ mm Hg}$$

Para passar de um valor, nas unidades da coluna da esquerda, a outro, nas unidades da fila superior, multiplica-se o primeiro pelo coeficiente da quadrícula de intercepção.

### Conversões simples.

Na tabela 2 não se incluíram as seguintes conversões simples:

$1 \text{ g} \cdot \text{m} / (\text{MN} \cdot \text{s}) \times 10^{-9} =$	$1 \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}).$
$1 \text{ ng} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \times 10^{-12} =$	$1 \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}).$
$1 \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}) / 3600 =$	$1 \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}).$
$1 \text{ g} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}) / 3600000 =$	$1 \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}).$
$1 \text{ mg} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}) / 3.6 \times 10^9 =$	$1 \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}).$
$1 \text{ g} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{bar}) / 3600 =$	$1 \text{ g} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{bar})$
$1 \text{ mg} \cdot \text{m} / (\text{N} \cdot \text{h}) / 3600 =$	$1 \text{ g} \cdot \text{m} / (\text{MN} \cdot \text{s})$
$1 \text{ g} \times \text{cm} / (\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}) \times 24 =$	$1 \text{ g} \cdot \text{cm} / (\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{mmHg})$
$1 \text{ g} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}) =$	$1 \text{ g} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg})$

### Exemplo n.º 1:

Aceitando para o AF/Armaflex uma permeabilidade ao vapor de água de  $0.0315 \text{ g} \cdot \text{cm} / (\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{mmHg})$  podemos calcular o seu valor em  $kg / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$ :

Tomamos as unidades conhecidas na coluna da esquerda (4º) e as que queremos conhecer na fila superior (1º).

O coeficiente multiplicativo obtém-se na quadrícula de intercepção ( $0.86813 \times 10^{-12}$ ):

$$0.0315 \text{ g} \cdot \text{cm} / (\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{mmHg}) \cdot 0.86813 \cdot 10^{-12} = 2.735 \cdot 10^{-14} \text{ kg} / 8 \text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}.$$

### Exemplo n.º 2:

Para obtê-lo agora em  $mg / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$ :

Da quinta conversão simples:

$$2.735 \cdot 10^{-14} \text{ kg} / (\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}) \cdot 3.6 \cdot 10^9 = 9846 \cdot 10^{-5} \text{ mg} / (\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa}).$$

A permeabilidade é um valor que, na prática, temos de associar com a espessura, pelo que, continuando com a semelhança entre o fluxo de calor e fluxo de vapor, procuremos agora o equivalente da condutância:

	$\frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$	$\frac{\text{g}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}}$	$\frac{\text{g}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{bar}}$	$\frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{mmHg}}$	$\frac{\text{gn} \cdot \text{in}}{\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{inHg}}$
$\frac{\text{Kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa}}$	1	$479.96 \cdot 10^6$	$10^8$	$1.1519 \cdot 10^2$	$0.68823 \cdot 10^{12}$
$\frac{\text{g}}{\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{mmHg}}$	$2.0835 \cdot 10^{-9}$	1	0.20835	2400	1433.9
$\frac{\text{g}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{bar}}$	$10^{-8}$	4.7996	1	11519	6882.3
$\frac{\text{g} \cdot \text{cm}}{\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{mmHg}}$	$0.86813 \cdot 10^{-12}$	$0.4167 \cdot 10^{-3}$	$86.813 \cdot 10^{-6}$	1	0.59747
$\frac{\text{g in}}{\text{ft}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{inHg}}$	$1.453 \cdot 10^{-12}$	$0.69738 \cdot 10^{-3}$	$0.1453 \cdot 10^{-3}$	1.6737	1

Tabela 2. Conversão de Unidades de Permeabilidade ao vapor de água.

### A PERMEÂNCIA AO VAPOR DE ÁGUA $W_p$

A permeância ao vapor de água, é a quantidade de vapor que passa por unidade de superfície de uma amostra com uma espessura determinada, num tempo unitário e quando entre as suas paredes se estabelece uma diferença de pressão unitária.

Por outras palavras, a permeância não é mais que a permeabilidade para um material de espessura conhecida.

Símbolo:  $W_p$

Unidades:  $\text{kg} / (\text{m}_2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$

Em termos algébricos diríamos que:

$$W_p = \frac{\delta_p}{d}$$

donde **d** é a espessura do isolamento em **m**.

Se temos dois isolamentos planos, com diferente permeabilidade, podemos obter a espessura equivalente para que o seu comportamento seja similar:

$$W_p = \frac{\delta_p}{d} = \frac{\delta_{p'}}{d'}$$

#### Exemplo n.º 3:

Queremos conhecer a permeância ao vapor de água de uma prancha AF/Armflex com 25 mm de espessura:

$$W_p = \frac{2.735 \cdot 10^{-14}}{0.025} = 1.094 \cdot 10^{-12} \text{ kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

A NBE-79 (Espanha), aceita como barreira de vapor todo o material cuja permeância seja inferior a:

$$0.1 \text{ g} \cdot \text{m} / (\text{MN} \cdot \text{s}) = 10^{-10} \text{ Kg} / (\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

Do que fica dito, deduzimos que o comportamento na instalação de um material isolante, não só dependerá do seu coeficiente de permeabilidade, mas também da espessura do isolamento, isto é, da sua permeância, para que possa considerar-se como barreira de vapor eficiente.

Um conceito menos utilizado, é o da resistência ao vapor de água, que é o inverso da permeância:

Símbolo:  $Z$

Unidades:  $\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{Pa} / \text{kg}$

Falta dizer que necessitaríamos de duas tabelas de conversão semelhantes à da permeabilidade, o que complica algo mais o assunto, pelo que recorreremos ao seguinte conceito:

### O FACTOR DE RESISTÊNCIA À DIFUSÃO DO VAPOR DE ÁGUA: $\mu$

O problema de tão complexas e variadas unidades pode solucionar-se recorrendo a um valor relativo.

Imaginemos que na proveta da figura anterior damos por concluído o ensaio com um aumento de peso A. Preparamos novamente a proveta, mas sem a revestir com a amostra a ensaiar, antes a deixamos descoberta nas mesmas condições de ensaio de 23 °C e 50% de humidade relativa. O novo ensaio dá-nos um aumento de peso B.

O factor **m** fica definido mediante a relação:

$$\mu = \frac{B}{A} = \frac{\delta_{ar}}{\delta_{material}}$$

Isto é, o factor **m** de resistência à difusão do vapor de água, é a relação entre a permeabilidade do ar e a do material a ensaiar. Dado que é uma relação entre grandezas da mesma unidade, adimensional.

A obtenção deste factor tem algumas dificuldades, cuja resolução fica para os laboratórios especializados, porque a temperatura e a humidade, podem manter-se constantes na câmara de ensaio, mas, como dissemos ao princípio, a pressão varia com a altitude, pelo que, para homogeneizar resultados, temos de pôr o valor do ar a essa pressão.

O gráfico seguinte (retirado do Doc. CEN 88 WG 1 N-448), dá-nos os valores da permeabilidade do ar para diferentes pressões. Ao valor da pressão normal, dado ao princípio, de 101325 Pa, correspondia-lhe uma permeabilidade aproximada de 0.7 mg / (m · s · Pa). No artigo posterior, que mencionámos no princípio, veremos que, por aplicação da fórmula de Schirmer, o valor seria de 0.7026 para as mesmas unidades, que convertido a outras usuais, seria:

$$\delta_{ar} = 0.7026 \text{ mg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$$

$$1.952 \cdot 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{Pa})$$

$$224 \text{ g} \cdot \text{cm}/(\text{m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{mmHg})$$

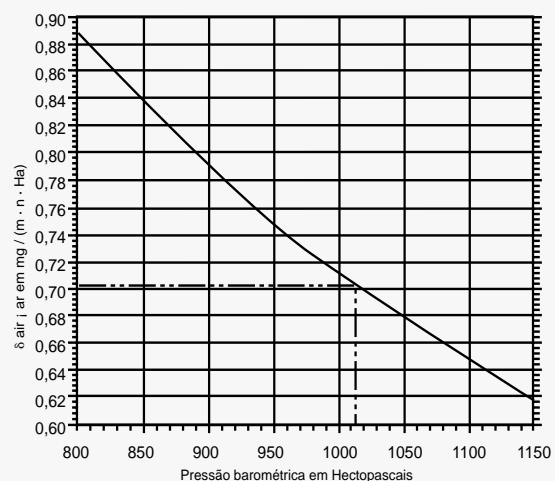


Fig. 2. Permeabilidade ao vapor de água do ar a 23 °C.

Este valor, adimensional, permite-nos identificar a qualidade dos isolamentos por simples comparação dos valores dados e, caso seja necessário, podemos obter a permeabilidade ou a permeância.

$$\delta = \frac{\delta_a}{\mu}$$

$$W_p = \frac{\delta_p}{d}$$

#### Exemplo n.º 4

Tomando qualquer dos valores do exemplo n.º 1, podemos calcular o factor **m** para o AF/Armaflex:

$$\mu = \frac{224}{0.0315} = 7.100$$

**A espessura da camada de ar equivalente à difusão do vapor de água**, indica-nos a espessura da camada de ar em repouso, que tem o mesmo factor de resistência ao vapor de água que a amostra de isolamento com uma espessura **d**.

Símbolo:  $d_a$

Unidades: m

Analiticamente, a expressão seria:

$$d_a = \mu \cdot d$$

#### Exemplo n.º 5

A espessura da camada de ar equivalente para a prancha AF/Armaflex de 25 mm, citada no exemplo n.º 3, seria:

$$d_a = 7100 \cdot 0.025 = 177.5 \text{ m}$$

### ENSAIOS

Anteriormente, recorreremos, em várias ocasiões, aos ensaios para medir o fluxo de vapor de água que está inserido nas seguintes normas UNE:

#### UNE 9225 EXP

Materiais isolantes térmicos.

Determinação da permeabilidade ao vapor de água, em coquilhas.

Método do desumidificador.

#### UNE 92226 EXP

Materiais isolantes térmicos.

Determinação da permeabilidade ao vapor de água, em pranchas.

Método do desumidificador.

Em ambos os casos, o fundamento consiste em preparar amostras que se colarão adequadamente e que fazem de barreira de vapor entre dois ambientes com diferente humidade relativa. No interior põe-se um desumidificador apropriado que o mantém a 0% de HR, enquanto que na câmara se controla uma humidade de 50% e uma temperatura de 23 °C, o que cria uma diferença de pressão de 1400 Pa. Passado um tempo de estabilização, as provetas vão-se pesando, periodicamente, para determinar a quantidade de vapor de água transferida e absorvida pelo desumidificador.

Uma vez obtido o aumento de peso e conhecida a superfície exposta, que no caso das coquilhas será a média geométrica, calcularíamos a permeância e obtido o factor de resistência do ar, deduzimos o factor **m** do isolamento.

Estes ensaios acostumam dar-nos uma tolerância sensível.

Acabam de ser realizados ensaios interlaboratoriais em diferentes países europeus e a média de erro oscilou entre  $\pm 20\%$ .

Os resultados do laboratório espanhol participante, situaram-se muito próximos ao valor médio.

Esta situação obriga o fabricante a manter um grande controlo interno (autocontrolo), bem como frequentes ensaios em laboratórios homologados (supervisão).

### RESUMO

Apesar de termos deixado para uma Informação Técnica posterior, uma detalhada análise da influência da permeabilidade ao vapor de água no comportamento dos materiais isolantes, digamos que, o bom funcionamento de uma instalação com temperatura interior do fluido inferior à do orvalho do ambiente, isto é, instalações isoladas de frio industrial, refrigeração e ar condicionado, depende, em boa parte, de uma alta resistência do isolamento à difusão do vapor de água, a forma mais segura de garantir um comportamento uniforme e contínuo da instalação.



www.armacell.com  
info.es@armacell.com

MIEMBRO DE



Armacell Iberia, S.L.

#### SERVIÇO DE VENDAS:

**BEGUR (ESPAÑA)**  
Apartado 2  
Tel.: +34 972 61 34 19/20  
Fax: +34 972 30 03 83  
17200 PALAFRUGELL  
(ESPAÑA)

#### DELEGAÇÕES DE VENDAS ESPAÑA E PORTUGAL\*

Madrid Tel.: +34 914 56 11 50  
Barcelona Tel.: +34 934 25 23 25  
Sevilha Tel.: +34 954 64 29 73  
Bilbau Tel.: +34 944 47 43 10  
Valencia Tel.: +34 963 46 70 12  
\*Vigo Tel.: +34 986 22 09 89

#### BRASIL

Praça Dom Epaminondas  
Pindamonhangaba  
CEP 12421-020  
Tel.: +55 12 3648 6900  
Fax: +55 12 3648 5113  
(BRASIL)

#### PACTO ANDINO

1895 Silverbell Terrace. Weston  
Florida 33327  
Tel.: +1 954 217 09 50  
Fax: +1 954 217 94 55  
Móvil: +1 954 27 026 79  
EE.UU.

#### CONE SUL

Ladines, 2913  
Tel. e Fax: +54 11 4572 1415  
C 1419 EYK BUENOS AIRES  
(ARGENTINA)