

ArmWin AS – Referencia técnica

- Factor μ
- Armaflex con recubrimiento exterior adicional
- Métodos de cálculo
- Control de la condensación
- Conducción
- Convección
- Temperatura del punto de rocío
- Ahorro de energía en tuberías o superficies planas aisladas
- Espesor Técnico Creciente
- Coeficiente superficial externo
- Espuma elastomérica flexible
- Flujo de calor
- Coeficiente de superficial interno
- Comportamiento a largo plazo
- Unidades sajonas / métricas
- Temperatura superficial externa
- Unidades de permeabilidad
- Unidades de presión
- Impedir la congelación de agua estancada en una tubería
- Radiación
- Humedad relativa
- Capacidad calorífica
- Medio estático
- Coeficiente superficial de transmisión de calor
- Cambio de temperatura de un fluido en movimiento
- Unidades de temperatura
- Conductividad térmica
- Aislamiento térmico
- Resistencia térmica
- Resistividad térmica
- Transmitancia térmica
- Barrera de vapor de agua
- Permeabilidad al vapor de agua
- Permeancia al vapor de agua
- Resistencia al vapor de agua

Todos los cálculos han sido realizados con ArmWin AS V1.0, el programa de cálculo desarrollado por Armacell, y están basados en la norma ISO EN 12241:1998. Los cálculos de difusión de vapores de agua han sido desarrollados por el Dr. Ernst W. Behrens: Bauphysik 25/1 (2003), pp. 35-38, y 26/4 (2004), p. 204.

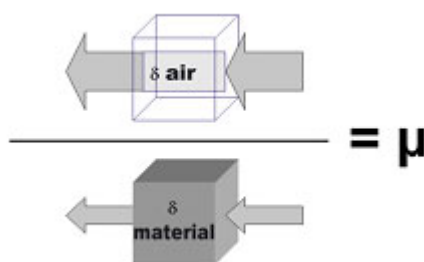
Factor μ - Resistencia a la difusión del vapor de agua

El factor μ de resistencia a la difusión del vapor de agua se obtiene dividiendo la permeabilidad del vapor de agua del aire, por la permeabilidad al vapor de un material poroso.

Estos valores tendrán relación con los diferentes mecanismos que se utilizan para estudiar la transferencia del vapor de agua a través del material poroso, que pueden ser la humedad por volumen o la presión parcial del vapor de agua. Los valores obtenidos también dependerán de la temperatura.

Para aire a 0°C, la permeabilidad del vapor de agua es:
 $658,07 \cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$.

Factor μ - Resistencia a la difusión de vapor de agua



El factor de resistencia a la difusión de vapor de agua, comúnmente conocido como factor μ , es un número adimensional que describe la capacidad de un material de resistir al paso de vapor de agua, en comparación con la del aire.

Consecuentemente, un factor μ elevado = alta resistencia a la transmisión de vapor de agua

Si se comparan diferentes productos y éstos tienen el mismo factor μ , el espesor equivalente del aire debe ser siempre el mismo.

Por ejemplo:

- $\mu = 10.000$ $d = 0,014 \text{ m} \rightarrow \mu \cdot d = 140 \text{ m}$
- $\mu = 7000$ $d = 0,020 \text{ m} \rightarrow \mu \cdot d = 140 \text{ m}$
- $\mu = 5000$ $d = 0,028 \text{ m} \rightarrow \mu \cdot d = 140 \text{ m}$
- $\mu = 3000$ $d = 0,047 \text{ m} \rightarrow \mu \cdot d = 140 \text{ m}$

Como indica este ejemplo, cuanto menor sea el factor μ , mayor será el espesor del aislamiento necesario para lograr la misma entrada de vapor de agua.

Armaflex con recubrimiento exterior adicional

En los campos de procesos industriales, refrigeración y aire acondicionado, para poder evitar la condensación es necesario utilizar un espesor de aislamiento tal que la temperatura de la superficie del aislamiento esté como mínimo a la temperatura de punto de rocío del ambiente. Dado que la diferencia de temperatura entre el interior frío (o superficie) y el aire ambiente caliente también provoca una diferencia en la presión parcial, es necesario minimizar la difusión del vapor hacia el aislamiento.

Armaflex utiliza una estructura de célula cerrada que ofrece alta resistencia a la difusión de vapor de agua, minimizando así el efecto perjudicial que tiene este proceso sobre la eficacia del aislamiento.

En la práctica, a veces se aplica un recubrimiento adicional sobre el aislamiento Armaflex. En este caso, el espesor del aislamiento de los materiales elastoméricos debe aumentar por la influencia del coeficiente superficial de transmisión de calor.

Métodos de cálculo

Se utilizan los siguientes métodos de cálculo

- » Control de la condensación
- » Temperatura superficial externa
- » Transmitancia térmica
- » Flujo de calor
- » Cambios en la temperatura del fluido en movimiento
- » Cambios en la temperatura del fluido estático
 - calcular el tiempo
 - calcular el cambio de temperatura
- » Prevención de congelación de agua estanca en tuberías
- » Comportamiento a largo plazo
- » Ahorro de energía

Reglas de cálculo

- » EN ISO 12241:1998
- » Aislamiento térmico en material de construcción e instalaciones industriales – Reglas de cálculo (*Thermal insulation for building equipment and industrial installations - Calculation rules*)

Control de la condensación

Es posible evitar la formación de condensación. Para ello, el aislamiento debe tener un espesor suficiente como para que la temperatura de su superficie sea superior a la temperatura del punto de rocío, incluso en los puntos críticos (puentes térmicos).

El espesor mínimo necesario del aislamiento se determina con las siguientes variables:

- Temperatura mínima de la línea
- Temperatura máxima ambiente
- Humedad relativa máxima
- Coeficiente de superficial exterior
- Coeficiente de superficial interior (para gases)
- Conductividad térmica del aislamiento en las condiciones de temperatura específicas

El espesor nominal creciente tiene un papel importante en el dimensionado.

Cuando se aplica un sistema adicional, por ejemplo recubrimiento de aluminio o chapa, a un aislamiento AF/Armaflex correctamente dimensionado, se produce un cambio en la temperatura superficial del aislamiento. La temperatura superficial de Armaflex desciende, es decir, que la temperatura crítica del punto de rocío (zona de penetración de la humedad) se desplaza hacia el exterior.

Conducción

El calor es la transmisión de energía entre dos sistemas en contacto y se debe únicamente a una diferencia entre las temperaturas. Existen tres mecanismos conocidos para la transmisión de calor y, según las circunstancias, pueden darse por separado o simultáneamente.

- Conducción
- Convección
- Radiación

La conducción es la transmisión de calor en una materia sólida cuando existe diferencia de temperatura. La transmisión de la energía se realiza mediante el movimiento de las moléculas y partículas que constituyen el sólido.

La conductividad térmica es la medición de la transmisión de calor a través del material. Generalmente, los metales son buenos conductores.

El cobre tiene una conductividad térmica de 400 W/(m.K).

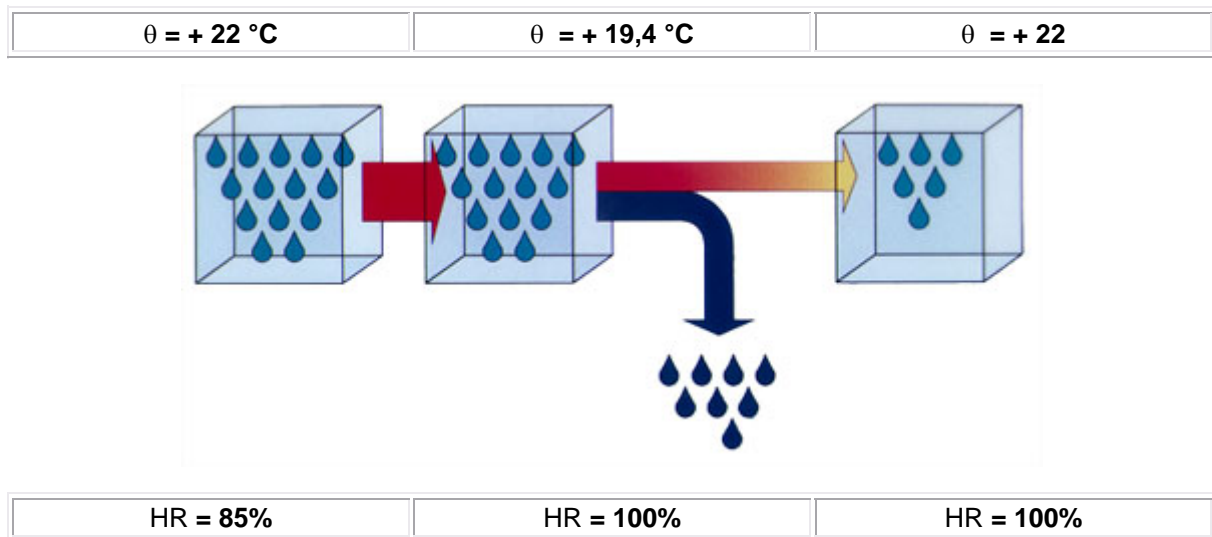
Temperatura del punto de rocío

La temperatura del punto de rocío, también conocida como temperatura de saturación, es la temperatura a la cual el aire queda saturado con vapor de agua, y el agua se transforma en condensación si la temperatura del aire continúa bajando.

El aire caliente es capaz de absorber más agua que el aire frío.

A una cierta temperatura y con un determinado contenido de vapor de agua, el aire se enfría cuando se encuentra cerca de una tubería que tiene una temperatura inferior a la del aire. Dado que la cantidad de vapor de agua presente no desciende a medida que el aire se enfría, el aire queda saturado al 100% con vapor de agua cuando alcanza una cierta temperatura.

Si el aire sigue enfriándose alrededor del objeto, una parte del agua dejará de ser absorbida en forma de vapor de agua y se convertirá en agua líquida. Como resultado, se forma la condensación.



En el caso de instalaciones de refrigeración, esto significa que el aislamiento debe tener un espesor que no permita que la temperatura descienda por debajo de la temperatura de punto de rocío en ninguna parte de la superficie.

Convección

La transmisión del calor mediante el movimiento de partículas de fluidos, se conoce como convección. Un líquido o gas se calienta cuando entra en contacto con una superficie caliente y luego se desplaza transportando consigo el calor dentro de las partículas.

La transmisión del calor mediante convección puede ser un proceso forzado o natural. Una convección forzada requiere un motor externo como, por ejemplo, una bomba, un agitador o un ventilador. El efecto enfriador del viento es también un ejemplo de convección forzada.

La convección natural es la transmisión de calor entre un sólido y un líquido, y se debe principalmente a la diferencia de temperaturas entre los dos cuerpos. El movimiento del líquido se debe principalmente a la flotabilidad natural que genera el cambio en la densidad del líquido cerca de la superficie.

El flujo en el medio líquido puede ser laminar o turbulento, y afectará al coeficiente de transmisión del calor. Asimismo, la forma y la orientación del sólido afectan al tipo de flujo.

Ahorro de energía en tuberías o superficies planas aisladas

Los inversores a menudo exigen una estimación del futuro consumo energético de una instalación de calefacción. El consumo energético depende, entre otros factores, del espesor del aislamiento que se está utilizando. Cuando se conocen los valores calorimétricos del combustible (gas o diesel), y se introducen en la hoja de cálculo junto con el precio unitario del diesel, gas o electricidad, ArmWin AS calculará el ahorro energético correspondiente al período de tiempo especificado, en comparación con una tubería o depósito sin aislamiento. El período está formado por el tiempo de funcionamiento del sistema de calefacción: años, días de funcionamiento al año (época en la que se necesita la calefacción), y horas de trabajo al día (número medio de horas durante toda la temporada de calefacción). El ahorro energético se calcula en términos de ahorro de la cantidad de combustible o energía eléctrica en kWh a lo largo del período indicado. Estos ahorros también se convierten en el ahorro directo de costes, aplicando el precio del combustible o de la electricidad, según corresponda.

Para más información sobre el potencial de ahorro gracias al aislamiento de tuberías, póngase en contacto con el servicio técnico de Armacell.

Espesor técnico creciente

La coquilla AF/Armaflex, diseñada especialmente para evitar la condensación en instalaciones de frío, se fabrica de tal forma que, para un determinado espesor de pared nominal, se aumenta el espesor real de la pared a medida que aumenta el diámetro de la tubería. Así pues, para unas determinadas condiciones, se aumenta el espesor de la pared para conservar la temperatura exterior del aislamiento.

En las siguientes condiciones:

- Temperatura ambiental: 22°C
- Temperatura de la línea: 6°C
- Humedad relativa: 85 %

El punto de rocío es 19,4°C.

El espesor mínimo del aislamiento necesario para aumentar la temperatura de la superficie externa por encima del punto de rocío es: (coeficiente superficial exterior de 9 W/(m² · K))

Diámetro exterior de la tubería mm	Espesor del aislamiento mm
15	12,3
22	13,3
42	14,9
60	15,7
89	16,5
114	17,0

El espesor de la pared de los tubos AF-F cumple con los requisitos arriba indicados. Los espesores técnicos crecientes eliminan la necesidad de tener que calcular el espesor correcto del aislamiento para cada diámetro de la tubería.

Coeficiente de superficial exterior

Generalmente se admite el uso de los siguientes valores o coeficientes de superficiales externos para calcular las condiciones normales (interior y exterior) que han sido aisladas con:

SH/Armaflex gris, sin pintar y/o pintado con Armafinish 99	10 W/(m ² ·K)
AF/Armaflex, NH/Armaflex, HT/Armaflex o negro, sin pintar y/o pintado con Armafinish 99	9 W/(m ² ·K)
Recubrimientos metálicos, p.ej., galvanizado	7 W/(m ² ·K)
Superficies metálicas brillantes, p.ej., aluminio o inox	5 W/(m ² ·K)
Sin aislamiento	18 W/(m ² ·K)

Calcular el "Control de la condensación":

Los valores más altos correspondientes al coeficiente superficial exterior que se generan cuando existen movimientos de aire (convección forzada) no pueden ser utilizados como base para los cálculos, debido a que los espesores del aislamiento calculados de esta manera tendrían una resistencia inadecuada a la difusión de vapor de agua (valor μ). Una convección restringida debida a "zonas congestionadas" (muy poco espacio, cavidades con mala ventilación) provocará coeficientes de superficie externa más bajos. En tales casos es necesario realizar un cálculo según la norma ISO 12241:1998.

Espuma elastomérica flexible (FEF)

Espuma de célula cerrada fabricada con caucho sintético, con otros polímeros y productos químicos que pueden ser modificados con aditivos orgánicos o inorgánicos.

Flujo de calor

En la práctica, para lograr un ahorro energético a menudo es necesario no superar un determinado flujo de calor.

Un valor obligatorio es el:

- Coeficiente de superficial externo
- Coeficiente de superficial interno

La cantidad de flujo de calor q es el índice del flujo de calor en relación por unidad de superficie afectada. La unidad es W/m².

En la tecnología del aislamiento, el flujo térmico está relacionado con la superficie del sistema de aislamiento.

El flujo de calor lineal es la cantidad de calor dividido por la longitud. La unidad es W/m.

Coeficiente de superficial interno

Según EN ISO 12241, el coeficiente de superficial interno de un medio fluido (líquido) es muy alto y puede ser omitido en el caso de fluidos en tuberías.

Valor aproximado: 1000 W/(m²·K)

Sin embargo, debe tenerse en cuenta para tuberías y conductos de ventilación. En tales casos, el cálculo debe realizarse según EN ISO 12241.

Valor aproximado: 30 W/(m²·K) (gaseoso)

Comportamiento a largo plazo de aislamientos para bajas temperaturas

La función más importante de un aislamiento para baja temperatura es evitar la condensación y minimizar la pérdida energética durante la vida útil de la instalación. Al seleccionar y determinar el espesor del aislamiento para baja temperatura, es necesario tener en cuenta que en el transcurso de la vida útil, las pérdidas energéticas pueden aumentar de forma importante debido a la penetración de humedad.

Consecuentemente, un sistema de aislamiento fiable debe contar con una protección contra la penetración perjudicial de humedad. Con cada % de contenido de humedad, la conductividad térmica aumenta y el efecto aislante se deteriora, dando como resultado no sólo una mayor pérdida energética, sino también un descenso de la temperatura de la superficie. Si ésta desciende por debajo de la temperatura de punto de rocío, se generará condensación. Sólo si la conductividad térmica del aislamiento no aumenta de forma significativa debido a la entrada de humedad, se podrá garantizar que la temperatura de la superficie permanecerá por encima del punto de rocío, incluso después de muchos años de funcionamiento.

La cantidad de humedad que puede penetrar en el aislamiento como resultado de la difusión del vapor, depende de la resistencia a la difusión de vapor de agua (factor μ) del aislamiento. Cuanto más bajo sea el factor μ de un aislamiento, mayor será el contenido de humedad; consecuentemente, las pérdidas energéticas aumentarán con los años. Es importante tener en cuenta este dato a la hora de seleccionar el aislamiento.

En condiciones normales, la probabilidad de condensación de vapor de agua en el aislamiento, con el consiguiente aumento de la conductividad térmica, es menor de lo imaginado. Uno de los motivos es que el cálculo del espesor del aislamiento necesario para evitar la condensación está basado en condiciones ambientales máximas. Sin embargo, hay pocas probabilidades de que las condiciones de temperatura ambiental máxima y la humedad máxima utilizadas para el cálculo se den simultáneamente. Además, en casos extremos, es habitual en aplicaciones para baja temperatura –y también para ahorrar energía- utilizar una capa de aislamiento ligeramente mayor de lo que es estrictamente necesario para evitar la condensación.

Unidades sajonas / métricas

1 pulgada (in)	=	25,4 mm
1 pie (ft)	=	0,3048 m
1 yarda (yd)	=	1,609 km
1 milla náutica (nm)	=	0,9144 m
1 milla, tierra (EE.UU) (stm)	=	1.852 km

Temperatura superficial exterior

Por motivos de funcionamiento, a menudo se estipula en la práctica que es necesario mantener una determinada temperatura superficial, o que la temperatura de la superficie debe ser superior a la del rocío del ambiente

La temperatura superficial depende no solamente de la transmisión térmica, sino también de las condiciones de funcionamiento que no pueden ser garantizadas ni determinadas por el fabricante. Entre otros factores, se incluyen: la temperatura ambiente, el movimiento del aire, el estado de la superficie del aislamiento, el efecto de los cuerpos radiantes adyacentes, las condiciones meteorológicas, etc. Además, es necesario predeterminar las condiciones de funcionamiento. Utilizando todos estos parámetros, será posible calcular el espesor del aislamiento necesario.

Unidades de permeabilidad

La unidad común es: $\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$

Las otras unidades son:

1 $\text{kg}/(\text{m} \times \text{s} \times \text{Pa})$	=	$\text{kg}/(\text{m} \times \text{h} \times \text{Pa}) \times 3600$
1 $\text{kg}/(\text{m} \times \text{s} \times \text{Pa})$	=	$\mu\text{gm}/(\text{Nh}) \times 2,778 \times 10^{13}$
1 $\text{kg}/(\text{m} \times \text{s} \times \text{Pa})$	=	$\text{gm}/(\text{s} \times \text{MN}) \times 10^{-9}$
1 $\text{kg}/(\text{m} \times \text{s} \times \text{Pa})$	=	$\text{g}/(\text{m} \times \text{h} \times \text{mmHg}) \times 479,17 \times 10^{-6}$
1 $\text{kg}/(\text{m} \times \text{s} \times \text{Pa})$	=	$\text{g}/(\text{m} \times \text{s} \times \text{bar}) \times 10^{-8}$
$2,97 \times 10^{-10} \text{ kg}/(\text{m} \times \text{h} \times \text{Pa})$	=	$\text{g}/(\text{m}^2 \times 24\text{h})$
$3,6 \times 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m} \times \text{h} \times \text{Pa})$	=	$\text{g}/(\text{MN} \times \text{s})$
$0,52 \times 10^{-8} \text{ kg}/(\text{m} \times \text{h} \times \text{Pa})$	=	$\text{gr} \times \text{in}/(\text{h} \times \text{ft}^2 \times \text{inHg})$ "perm-in"

Unidades de presión

La unidad común es Pa.

Las otras unidades son:

1 bar	=	10 ⁵ Pa
1 N/m ²	=	1 Pa
1 kp/m ²	=	9,81 Pa
1 Torr	=	133 Pa

Impedir la congelación de agua estancada en una tubería

Es imposible impedir que se congele un líquido en una tubería, aunque cuente con un aislamiento, después de un largo período. El proceso de enfriamiento se inicia en cuanto el líquido (normalmente agua) se detiene en la tubería. El tiempo que tarda el líquido en congelarse depende del flujo térmico y del diámetro de la tubería. El flujo de calor de un líquido estático viene determinado por la energía inicial almacenada en el líquido, el material de aislamiento y el material de la tubería, así como por el calor latente de agua a hielo (en este caso).

En principio, la congelación de la sección cruzada de un tubo no debe producirse dado que las secciones cruzadas de los tubos están adaptadas a cada necesidad. Sin embargo, puede haber excepciones en casos individuales y la formación del hielo puede realizarse según las circunstancias.

Radiación

La transmisión de calor por radiación difiere de los dos mecanismos anteriores (conducción y convección). La radiación es la transmisión de energía en el vacío, y se produce entre todas las fases materiales. Cualquier material cuya temperatura es superior al cero absoluto (-273 °C) emite radiación debido a las vibraciones de los electrones en el interior del material.

La cantidad de energía emitida depende de la temperatura absoluta del cuerpo, conforme a la ecuación de Stefan-Boltzmann.

Esta ecuación sólo puede aplicarse a un "cuerpo negro" que es un radiador perfecto. Un material real emitirá menos energía y la proporción con la energía emitida por un "cuerpo negro" se define como la emisividad del material.

Humedad relativa

Un volumen conocido de aire es capaz de contener una pequeña cantidad de vapor de agua y esta cantidad (máxima) depende de la temperatura del volumen de aire.

El aire no siempre contendrá la cantidad máxima posible de vapor de agua, por lo que es habitual expresar esta cantidad presente como porcentaje del máximo.

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Cantidad real de vapor de agua presente}}{\text{Cantidad máxima de vapor de agua que puede contener a una determinada temperatura}}$$

o

$$\text{Humedad relativa} = \frac{\text{Presión parcial actual del vapor de agua}}{\text{Presión del vapor saturado}}$$

A una temperatura de 22 °C, la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener el aire (es decir: saturado) es de 16,9 g/kg a presión normal. Por lo tanto, a una humedad relativa del 85%, la cantidad real de vapor de agua será 14,1 g/kg. Si reducimos la temperatura del aire a 19,4 °C, la cantidad de vapor de agua no cambiará, pero la humedad relativa aumentará al 100%, es decir, que a 19,4 °C la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener es 14,1 g/kg. El aire caliente puede retener más vapor de agua que el aire frío. Consecuentemente, cuando el aire caliente entra en contacto con aire frío, la capa de aire que se encuentra próxima a la superficie se enfriará y puede exceder su nivel de saturación, dando lugar a la condensación.

Capacidad calorífica

La capacidad calorífica de un material se expresa como la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura un grado Kelvin.

Consecuentemente, la capacidad calorífica está relacionada con el peso unitario del material y se mide en J/(Kg·K) es decir, kilojulios por kilogramo por grados Kelvin.

Un material de aislamiento de alta capacidad calorífica tiende a dar una estabilidad térmica al sistema que está aislado, dado que bajo condiciones de temperatura fluctuantes, el calor será absorbido por el material, evitando así un rápido calentamiento o enfriamiento del medio.

Algunas capacidades caloríficas típicas son:

Medio	Temperatura media °C	Densidad kg/m ³	Cap. calorífica KJ/(kg·K)
Amoníaco	-50	695	4,450
	+50	561	5,080
Gasoil	-	920	1,670
Glicerina	0	1273	2,260
	+100	1209	2,810
Nitrógeno	-180	730	2,150
Agua	±0	1000	4,220
	+50	998	4,180
Aire	-50	1563	1,005
	±0	1275	1,005
Acero	+10	7850	0,502
Cobre	+20	8900	0,398
Hierro fundido	+10	7250	0,628
Zinc	±0	7100	0,398

Medio estático

Esta opción de cálculo permite determinar el efecto de enfriamiento (o calentamiento) de un medio estático (inmóvil). Existen dos opciones de cálculo para un espesor de aislamiento conocido:

- » tiempo que debe ser calculado para una diferencia de temperatura
 - » cambio de temperatura que debe ser calculado para un tiempo dado.
- Para calcular el espesor del aislamiento, es necesario conocer ambos valores.

Por motivos de funcionamiento, a menudo se requiere que en la práctica no se exceda una determinada temperatura final (de servicio), o un determinado tiempo de parada.

Para el cálculo, se necesitan (entre otros) los siguientes valores:

- » Coeficiente superficial exterior
- » Coeficiente superficial interior (para medios gaseosos)
- » Capacidad calorífica

En el caso de medios gaseosos, debe tenerse en cuenta la capacidad calorífica del contenedor (depósito, tubo, conducto), y por lo tanto hay que introducir los datos referentes al contenedor (capacidad calorífica, densidad).

Coeficiente superficial

El coeficiente de transmisión de calor de una superficie es la densidad del flujo de calor dividida por la diferencia entre la temperatura de la superficie y la de su entorno.

$$h = \frac{q}{T_s - T_a} \quad [W/(m^2 \cdot K)]$$

Para entender mejor el coeficiente de superficial, deben tenerse en cuenta:

La diferencia entre la temperatura de la superficie y su entorno, el diámetro exterior del aislamiento, la orientación de la tubería, la naturaleza de la superficie, el movimiento del aire alrededor de la tubería (laminar o turbulento) y cualquier transmisión de calor por radiación.

El coeficiente total de una superficie es la suma de las **contribuciones convectivas y radiactivas**

$$h = h_{cn} + h_r$$

donde la contribución convectiva depende del movimiento del aire, de la orientación relativa y del tipo de material.

La contribución radiactiva depende de la naturaleza de la superficie y de su emisividad.

Existen varias ecuaciones que permiten calcular los valores de los coeficientes superficiales en diferentes condiciones de trabajo.

Cambio de temperatura de un fluido en movimiento

Este cálculo permite determinar el efecto de enfriamiento (o de calentamiento) de un fluido en movimiento (generalmente una tubería o conducto). Es posible calcular el cambio de temperatura (temperatura final del fluido) para un aislamiento de un grosor conocido. En el caso de calcularse el grosor del aislamiento, es necesario conocer el cambio de temperatura (temperatura final del fluido).

Por motivos de funcionamiento, a menudo es necesario no exceder la temperatura final del fluido (de trabajo).

Para el cálculo, se necesitan los siguiente valores (entre otros):

- » Coeficiente superficial externo
- » Coeficiente superficial interno (medios gaseosos)
- » Capacidad calorífica

Unidades de temperatura

Kelvin:	TK	= 273,15 + tC	= 5/9 TR	(K)
Rankine:	TR	= 459,67 + tF	= 1,8 TK	(Ra)
Celsius:	tC	= 5/9 (tF-32)	= TK - 273,15	(°C)
Fahrenheit:	tF	= 1,8 tC + 32	= TR - 459,67	(F)

El cero absoluto es:

$$0K = -273,15^{\circ}C = 0Ra = -459,67F$$

Conductividad térmica

La conductividad térmica es la capacidad de un material de permitir el paso de calor. Este valor es una propiedad del material y depende de la temperatura medida y del contenido de humedad del aislamiento.

Si realiza una comparación de la conductividad térmica de diferentes aislamientos, verá que cuanto más bajo es el valor, mejor es el aislamiento.

La unidad común es: $W/(m \cdot K)$

Las otras unidades son:

1 $W/(m \cdot K)$	=	$kcal/(m \cdot h \cdot K) \cdot 1,163$
1 $W/(m \cdot K)$	=	$Btu \text{ in } / h \cdot ft^2 \cdot grad. F \cdot 0,1443$

Aislamiento térmico (ISO 9229:1991)

Un material o producto cuyo objetivo es reducir la transmisión de calor a través de la estructura en/sobre el cual está instalado.

La transmisión de calor (ISO 9251:1987 apartado 2.5) se define como la transmisión de energía mediante conducción térmica, convección térmica, radiación térmica, o una combinación de ellas.

Las propiedades de un aislamiento práctico van más allá que la mera reducción de la transmisión térmica, dado que lo más eficaz es un vacío, y que no siempre es practicable.

Para determinar un buen aislamiento, es necesario que tenga las siguientes propiedades:

- » Baja conductividad térmica
- » Buena reacción frente al fuego
- » Alta resistencia al vapor de agua
- » Larga estabilidad estructural
- » Facilidad de instalación
- » Seguridad para el personal
- » Factores medioambientales
- » Soporte técnico

Los materiales deben escogerse de forma que proporcionen una combinación de todas estas propiedades.

Resistencia Térmica

La resistencia térmica se define mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{T_1 - T_2}{q}$$

Es decir: la diferencia entre temperaturas se divide por la densidad del flujo de calor en estado estacionario.

La resistencia térmica puede relacionarse con la estructura o con la superficie del material.

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Para una capa plana de material

donde d = el espesor de la capa y lambda es la conductividad térmica del material.

La unidad de resistencia térmica es (m²·K)/W.

Para calcular la resistencia térmica total de una estructura, es necesario tener también en cuenta las correspondientes resistencias de las superficies. Consecuentemente, para determinar el aislamiento para una tubería, es necesario calcular la resistencia térmica lineal, es decir: la resistencia térmica por metro de longitud de la tubería, donde R_L se mide en (m·K)/W.

Para tuberías, la resistencia térmica del material es:

$$R_L = \frac{\ln \frac{D_e}{D_i}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda}$$

donde

D_e = diámetro exterior del aislamiento

D_i = diámetro interior del aislamiento (diámetro exterior del tubo).

π = 3.1416

Para calcular la resistencia térmica total de una estructura, a la resistencia térmica del material, debe sumarse la resistencia de superficie interna (R_{si}) y la resistencia de superficie externa (R_{se}) respectivamente.

Donde (para el aislamiento de una tubería):

$$R_{si} = \frac{1}{h_i \cdot \pi \cdot D_i} \quad \text{y} \quad R_{se} = \frac{1}{h_e \cdot \pi \cdot D_e}$$

h_i y h_e son los coeficientes de transmisión de calor de las superficies interna (entre el fluido y la tubería) y externa (entre el aislamiento y el aire ambiente) respectivamente. En este procedimiento se hace caso omiso de la resistencia térmica del material del tubo (debido a su conductividad térmica generalmente alta y poco espesor – en comparación con el aislamiento).

Resistividad térmica (EN ISO 7345)

Lo opuesto a la conductividad térmica.

Se expresa en (m·K)/W.

Transmitancia térmica (ISO 7345 2.12)

En la práctica es necesario no exceder un determinado nivel de transmitancia térmica.

Para poder calcular la transmitancia térmica, es necesario conocer, entre otros, los valores del:

- » coeficiente superficial exterior
- » coeficiente superficial interior

La transmitancia térmica es el flujo de calor en estado estacionario dividido por el área y por la diferencia entre temperaturas, es decir:

$$U = \frac{q}{(T_{se} - T_{si})} [W / (m^2K)]$$

donde q = es la cantidad de calor transferido, dividido por el tiempo; consecuentemente las unidades son watios.

En comparación con la resistencia térmica, puede verse que

$$U = \frac{1}{R}$$

Por lo tanto, para una estructura sencilla, el valor U, o la transmitancia térmica se obtiene mediante

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}}$$

Los valores U son utilizados por entidades reguladoras (generalmente gobiernos nacionales) para especificar los niveles de aislamiento exigidos en casas residenciales, oficinas y otros edificios. Un reglamento típico puede indicar que el valor U de una pared o de un techo expuesto no debe superar 0,3 (W/m²K) en residencias. En este caso, será necesario calcular el valor U global, basándose en la resistencia térmica de los componentes, dejando un margen para los espacios de aire y las superficies.

En el caso del aislamiento de una tubería, un reglamento típico directamente impone el espesor del aislamiento. Sin embargo, los valores U en [W/m·K] para tuberías aisladas y no aisladas, se indican como valores por defecto en las normas EN correspondientes, para calcular el rendimiento energético de los edificios.

Barrera contra vapor de agua

Definido en la norma ISO 9229 como capa cuyo propósito es de impedir la difusión de vapor de agua. La barrera contra el vapor puede ser una capa relativamente fina de un material impermeable que se aplica a la superficie externa o al lado caliente del aislamiento. Como alternativa, la barrera contra el vapor puede "estar incorporada" en el material, como en el caso de las estructuras de célula cerrada.

Sin embargo, es importante saber que una estructura de célula cerrada por sí sola no garantiza una barrera suficiente que cumpla con las exigencias. Es necesario considerar también la naturaleza del aislamiento y asegurarse de que la barrera incorporada tiene una muy alta resistencia a la transferencia de vapor de agua.

Las barreras contra vapor que se instalan como protección adicional, suelen incorporar una lámina de aluminio reforzada con malla de vidrio o de poliéster recubierta con un adhesivo. En el caso de tales barreras, es muy importante asegurarse de que las mismas estén correctamente instaladas con el fin de conseguir una protección completa, ya que una simple rotura u orificio serían suficientes para invalidar la barrera contra el vapor.

En el caso de aislamiento de sistemas de baja temperatura, el uso de una barrera adecuada es un requisito técnico para garantizar la larga eficacia del sistema. Puede ser necesario instalar una protección adicional a la barrera, como por ejemplo, una protección contra intemperie u otro. Esta protección adicional contra la intemperie puede mejorar de forma significativa la actual barrera contra vapor del aislamiento, como en el caso del sistema de protección de superficies Arma-Chek T.

Permeabilidad al vapor de agua

La eficacia de una barrera contra el vapor se expresa en términos de la velocidad a la que el vapor pasa a través de dicha barrera en determinadas condiciones. Al igual que un aislamiento, la permeabilidad contra el vapor determina su eficacia en instalaciones de baja temperatura.

La permeabilidad es la propiedad del material y se define como la cantidad de vapor de agua que pasa a través de una unidad de espesor, generalmente un metro, en unidades de tiempo y bajo una determinada presión.

Sus unidades son:

$\text{kg}/(\text{m}\cdot\text{s}\cdot\text{Pa})$ o $\text{g}\cdot\text{m}/(\text{s}\cdot\text{MN})$ donde un Pascal = un Newton por metro cuadrado ($\text{Pa} = \text{N}/\text{m}^2$).

Para más unidades de la permeabilidad, consulte la documentación aparte.

Los materiales con una elevada resistencia a la transmisión de vapor de agua tendrán valores de permeabilidad muy bajos, es decir, menos de $0,2\cdot 10^{-9} \text{ kg}/(\text{m}\cdot\text{h}\cdot\text{Pa})$. Al comparar valores de permeabilidad citados por diferentes fabricantes, es necesario tener en cuenta el método que se ha utilizado para el ensayo.

Consecuentemente, según las normas EN 12086 y EN 13469 (antes DIN 52615) la permeabilidad se mide a 23°C con una humedad relativa del 50% en un lado de la muestra, y del 0% de humedad relativa en el otro lado. En estas condiciones, la diferencia en la presión parcial del vapor de agua es de 1400 Pa. Según la norma BS 4370, Parte 2, las condiciones de ensayo son 25°C y 75% de humedad relativa, dando como diferencia en la presión parcial 2380 Pa.

Para poder determinar la presión parcial del vapor de agua para un sistema que funciona a baja temperatura, también es necesario tener en cuenta la temperatura de trabajo (fluido) y la humedad relativa. Así pues, para un sistema de agua fría con una temperatura de trabajo de 6°C y con condiciones ambientales de 22°C y una humedad relativa del 85%, tenemos:

Presión parcial en la superficie de la tubería = 935 Pa

Presión parcial ambiente = 2247 Pa

Por lo tanto, la presión parcial del vapor de agua que actúa sobre la superficie del aislamiento es de 1312 Pa.

Los valores de la presión de vapor pueden obtenerse en las tablas que ya están publicadas. En nuestro caso, hemos citado los valores que aparecen en el documento "*Handbook of Physics and Chemistry*", con los factores de conversión $1\text{mm Hg} = 133.316 \text{ Pa}$.

Permeancia del vapor de agua

Tal y como se explica en la sección "Permeabilidad al vapor de agua", la permeabilidad es una propiedad del material. Sin embargo, cuando es necesario comparar el rendimiento de diferentes materiales, se necesitan valores de la permeancia. Por lo tanto, la permeancia es la transmisión de vapor de agua a través de un espesor conocido de un material, en determinadas condiciones. Los requisitos para una barrera al vapor se citan como el valor mínimo de permeancia.

Las unidades utilizadas para determinar la permeancia al vapor de agua son similares a las utilizadas para la permeabilidad para un espesor: $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{Pa})$.

Resistencia al vapor de agua

Es lo opuesto a la permeancia al vapor de agua.