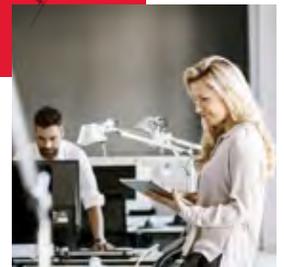


Difusión de vapor

Control de condensación y difusión de vapor para
ensambles de muros comerciales





Preparado por: **RDH BUILDING ENGINEERING LTD.**
y RDH BUILDING SCIENCES INC.

224 W 8th Avenue
Vancouver, BC
V5Y 1N5

Autor principal :
Graham Finch, P.Eng., Dipl.T., MASc

Ilustraciones realizadas por RDH Building Engineering Ltd. y RDH Building Sciences Inc., a menos que se indique lo contrario.

LIMITACIÓN DE RESPONSABILIDAD: RDH Building Engineering Ltd., y RDH Building Sciences Inc., y ROXUL Inc., han puesto todo el cuidado para asegurar la precisión de los datos y la información presentada en este documento. Sin embargo, este documento deberá utilizarse exclusivamente como una referencia general. Las aplicaciones de uso final específicas varían enormemente en cuanto al diseño, materiales y entornos. De esta manera, lo que es adecuado en una aplicación de uso final debe ser determinado en forma independiente por un ingeniero experimentado siguiendo su propio criterio profesional. RDH Building Engineering Ltd., y RDH Building Sciences Inc., y ROXUL no incurrirán en ninguna responsabilidad por ninguna parte del contenido en el presente, ya sea que dicha responsabilidad esté basada en una teoría contractual, extracontractual o de cualquier otra manera.

Contenido

Control de condensación y difusión de vapor para ensambles de muros comerciales	1
Qué es la difusión de vapor	1
Qué son las barreras y retardantes de vapor	2
Qué significa la filtración de aire en los muros	3
Retardantes de vapor dobles y en el lado equivocado	4
Diseño del ensamble del muro y difusión de vapor	5
Muros huecos de postes con aislante	5
Muros con aislante exterior	7
Muros con aislante dividido, adentro y afuera	9
Muros de concreto expuesto con aislante interior	11
Recubrimientos que guardan humedad y movimiento de vapor hacia adentro	12
Resumen	13

Control de condensación y difusión de vapor para ensambles de muros comerciales

Los requerimientos de los códigos de energía cada vez más estrictos han necesitado niveles de aislamiento cada vez mayores para muros no combustibles (es decir, de postes de acero, CMU, concreto) y en muchos casos esto incluye agregar un aislante exterior. El mayor grosor del aislante y los cambios en la localización del aislante requieren reconsideración cuando se toma en cuenta el control de la condensación y la difusión de vapor.

El cambio en la permeabilidad de vapor de diferentes productos aislantes, membranas y otros materiales de construcción introduce una complejidad mayor al diseño del ensamble de muro. Algunos materiales aislantes como la lana mineral y la fibra de vidrio son permeables al vapor, mientras que otros, como XPS, EPS poliisocianurato y la espuma de celda cerrada, son relativamente impermeables.

Los códigos de energía no dicen nada sobre este tema y los códigos de construcción pueden ser confusos ya que se relaciona con la selección de aislante exterior y el control de difusión de vapor para los muros.

Este boletín aclara el tema de control de condensación y difusión de vapor y ofrece una guía en estos nuevos ensambles de muros.

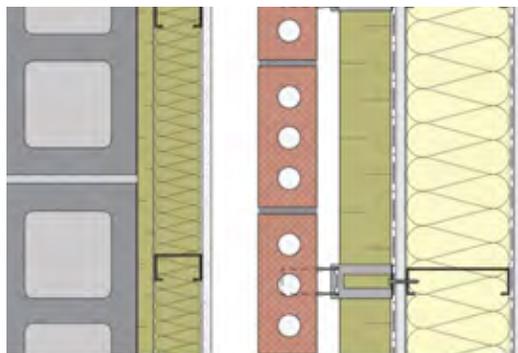
Un muro exterior separa físicamente el ambiente exterior y el interior. Las diferencias en temperatura, humedad, y presión de aire entre el interior y el exterior dan como resultado cargas que el muro debe controlar o admitir. El aislante es utilizado para controlar el flujo de calor, se instala una barrera de aire para controlar el flujo de aire, y los revestimientos, tapajuntas y membranas de revestimiento se utilizan para controlar la penetración de

agua. La selección de un arreglo en particular de capas de material, y la permeancia del vapor a dichas capas controlará la difusión de vapor.

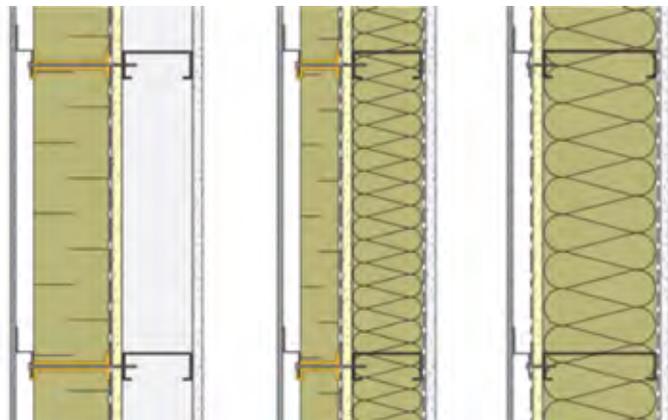
Qué es la difusión de vapor

La difusión de vapor es el movimiento de las moléculas de vapor de agua a través de materiales porosos (es decir, madera, aislante, muro en seco, concreto, etc.) como resultado de diferencias de presión. Las diferencias de presión de vapor se dan como resultado de las diferencias del contenido de vapor de agua en el aire y la temperatura. Estas presiones de vapor pueden observarse en una gráfica psicométrica o pueden calcularse.

El flujo de difusión de vapor siempre ocurre a través de un ensamble desde el lado de presión alta del vapor al lado de presión baja del vapor, que con frecuencia es del lado



Muro interior de unidad de mampostería de concreto (CMU) con aislante (izquierda), y muro de postes de acero con aislante dividido con revestimiento de ladrillo que guarda humedad (derecha), son otros ejemplos de ensambles de muros que ofrecen diferentes retos y beneficios con respecto a la difusión de vapor dependiendo del clima.

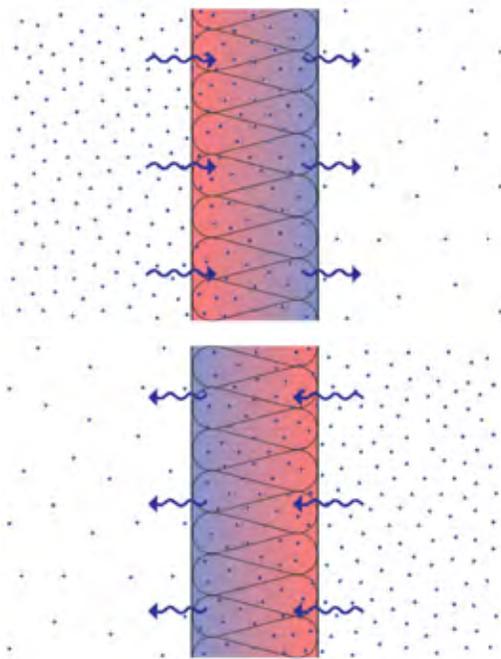


Los muros de postes de acero exteriores con aislante (izquierda), con aislante dividido (en medio), y muro hueco de postes con aislante (derecha) son tres formas de aislar el cerramiento de un edificio, pero estos muros pueden tener un desempeño significativamente diferente con respecto a la condensación y difusión del vapor.

caliente al lado frío porque el aire caliente puede retener más agua que el aire frío. En los climas fríos esto significa que el vapor se difunde principalmente desde el interior calentado al exterior más frío; mientras que en los climas calientes, se invierte el movimiento del vapor y en su lugar se trata principalmente del exterior húmedo y cálido al interior con aire acondicionado. La dirección de la difusión del vapor puede también invertirse cuando el sol calienta recubrimientos de muro absorbentes húmedos como la mampostería y mueve el vapor de agua hacia adentro.

Los siguientes diagramas muestran el movimiento

de vapor hacia adentro y hacia afuera para los climas calientes y fríos respectivamente. La temperatura a través de los muros se ilustra por el gradiente de temperatura, y la humedad relativa está indicada por la densidad de los puntos que representan esquemáticamente el número relativo de moléculas de vapor de agua en el aire.



Ejemplo de ensamble de muro que muestra el movimiento del vapor hacia adentro (parte superior) y hacia afuera (parte inferior) en los climas cálidos y fríos, respectivamente.

En términos generales, la dirección del movimiento del vapor tiene importantes ramificaciones con respecto a la colocación de los materiales dentro de un ensamble de muro. Lo que funciona en Toronto o Nueva York es muy probable que no funcione en Miami. Un uso inadecuado de los materiales impermeables al vapor dentro de un muro puede llevar a la condensación en las superficies más frías y a materiales dañados y crecimiento de hongos. El presente boletín ofrece una guía sobre la selección y colocación de los materiales dentro de los ensambles de muro para evitar problemas relacionados con la difusión de vapor.

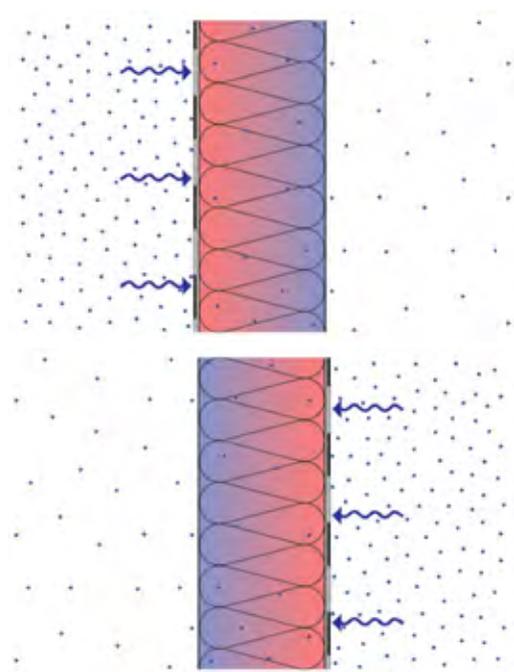
Qué son las barreras y retardantes de vapor

Para controlar la difusión del vapor dentro de los ensambles de muros se utilizan materiales retardantes de vapor. Todos los materiales de construcción ofrecen alguna resistencia a la difusión del vapor que varía dependiendo de las propiedades del material. Estas propiedades pueden cambiar con el contenido de humedad y la humedad relativa, edad, temperatura y otros factores. La resistencia del vapor comúnmente se expresa utilizando el término inverso "permeancia del vapor" que es la facilidad relativa de la difusión del vapor a través del material. Las unidades métricas para la permeancia del vapor son " $\text{ng}/\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2$ " o en unidades IP "granos/inHg·ft²·hr", siendo esta última comúnmente conocida como "permio americano". Ambas unidades son una medida del flujo de masa en el tiempo por la diferencia de presión del vapor y el área del muro u otro ensamble. Un permio americano es igual a $57.4 \text{ ng}/\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2$.

Los códigos de construcción han agrupado los materiales en clases (Clases I, II, III) dependiendo de los valores de permeancia del vapor. En la clase I (<0.1 permios americanos), y la Clase II (0.1 a 1.0 permios americanos) los materiales retardantes del vapor son considerados impermeables o casi impermeables, respectivamente, y se conocen en la industria como "barreras de vapor". Algunos materiales que caen dentro de esta categoría incluyen la lámina de polietileno, chapa metálica, papel aluminio, algunos aislantes de espuma plástica (dependiendo de su grosor), membranas bituminosas autoadheribles (pelar y pegar), y muchos otros materiales de construcción. Los materiales retardantes del vapor Clase III (1.0 a 10 permios americanos) se consideran materiales semipermeables y los materiales típicos que caen dentro de esta categoría incluyen las pinturas de látex, triplay, OSB y algunos aislantes de espuma plástica (dependiendo de su grosor).

La clase de retardante de vapor (I, II o III) se utiliza dentro de muchos códigos de construcción y publicaciones de diseños de cerramientos de edificios como guía para la selección de las capas adecuadas de control de vapor dentro de los ensambles de muros en las zonas climáticas en América del Norte. Esta guía también se basa en las condiciones internas esperadas de ciertos tipos de edificios que se relacionan con el clima exterior, las tasas de generación de humedad interna combinadas con las tasas de ventilación. Esta guía no se reitera aquí y deberá consultarse para seleccionar los materiales retardantes de vapor adecuado junto con consideraciones de otros aspectos que se cubren en este boletín.

Las imágenes siguientes ilustran cómo puede utilizarse un retardante de vapor en un clima frío y en uno caliente para controlar la difusión de vapor a través del ensamble de muro.



Corte transversal vertical esquemático que muestra cómo una barrera de vapor en la parte interior (izquierda) de un ensamble de muro (parte superior) y sobre el lado exterior (derecha) de un muro (parte inferior) puede controlar la difusión de vapor a través del ensamble en clima cálido y frío, respectivamente.

Secado por difusión del vapor

La difusión del vapor por lo general se considera como un fenómeno negativo, fenómeno que necesita detenerse por completo. En realidad, la difusión de vapor es también un mecanismo positivo que puede utilizarse para el beneficio del diseñador, y es un mecanismo de secado muy importante para un ensamble de muro. De hecho, la difusión de vapor es el único proceso a través del cual los interiores de la mayoría de los ensambles de muro pueden secarse en servicio. El control de la difusión de vapor dentro de un ensamble de muro por lo tanto, es lograr un equilibrio entre minimizar o manejar las fuentes de humedad y maximizar el potencial de secado si el muro se construye húmedo, o, de alguna manera se somete a humedad en servicio. Esto es particularmente importante con ensambles de muro que tienen un alto contenido aislante ya que más aislante significa que tiene menos energía calorífica para secar la humedad dentro del ensamble.

Qué significa la filtración de aire en los muros

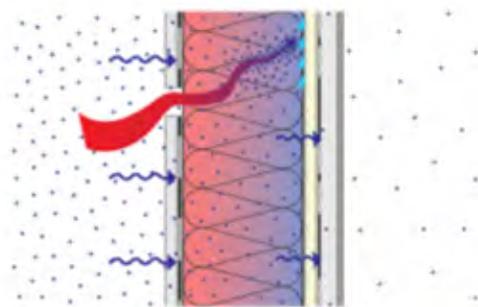
un problema, la filtración de aire en los ensambles de muro puede actuar mucho más rápidamente y depositar grandes cantidades de agua en un corto tiempo. La filtración de aire es impulsada por diferencias en la presión de aire entre el interior y el exterior de un edificio, situación que puede crearse por muchos factores

diferentes que incluyen los sistemas de ventilación, el efecto chimenea (creado por diferencias de temperatura interior a exterior). Estas presiones mueven aire a través de los ensambles de muro desde el lado de alta presión al lado de baja presión. Es importante hacer notar, que las diferencias de presión de aire no son las mismas a las diferencias de presión de vapor que impulsan la difusión del vapor.

Para controlar la filtración de aire en ensambles de cerramiento de edificios como son los muros, se instala una barrera de aire. A diferencia de la difusión, la filtración de aire por lo general no está regida por las propiedades del material de esta barrera de aire. En su lugar, la filtración de aire con frecuencia se presenta en discontinuidades

(es decir, orificios) en la barrera de aire. Por lo tanto, la prevención de la filtración de aire depende principalmente de la terminación de los detalles, compatibilidad de materiales, y control de calidad durante los procesos de diseño y construcción. En particular, la filtración de aire puede esquivar la barrera de vapor y por lo tanto es un fenómeno independiente de la difusión de vapor.

Cuando se presenta filtración de aire, puede llevar humedad y si este aire entra en contacto con una superficie que esté por debajo de la temperatura de rocío del aire, se presenta condensación. La temperatura del punto de rocío es la temperatura a la cual el aire está 100% saturado de humedad y por consiguiente si el aire se enfría por debajo de esta temperatura ya no puede retener toda la humedad que contiene y la deposita en las superficies más frías. La condensación resultado de filtración de aire puede depositar cantidades significativas de humedad dentro de un muro y potencialmente llevar a crecimiento de hongos y/o degradación.



Corte transversal vertical esquemático de un muro que presenta condensación de aire en la cara interior de un revestimiento exterior de yeso.

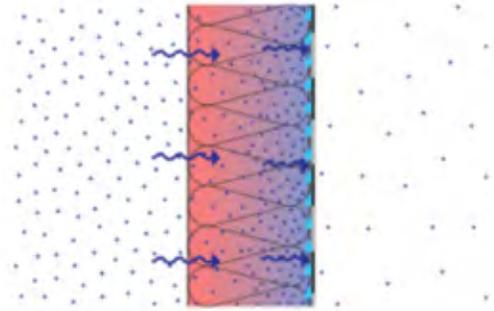
Retardantes de vapor dobles y en el lado equivocado

Aunque los retardantes de vapor pueden ser utilizados para controlar la difusión de vapor y por lo tanto evitar la condensación, la instalación de este tipo de materiales en el lugar equivocado dentro de un ensamble también puede causar problemas significativos de humedad.

Por lo general se pueden crear dos condiciones que son perjudiciales: retardantes de vapor en el lugar equivocado, y retardantes de vapor dobles.

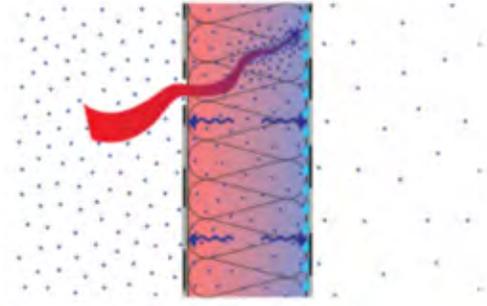
Retardantes de vapor en el lado equivocado se refiere

a cuando el retardante de vapor se coloca en el lado de baja presión del vapor (por lo general en el lado frío) de un ensamble de muro. El colocar un retardante de vapor de esta manera restringe la difusión de vapor a través del muro y crea un plano potencial de condensación dentro del ensamble de muro.



Corte transversal vertical esquemático que muestra la condensación de humedad en un material retardante de vapor colocado en el lado equivocado de un ensamble de muro.

Retardantes de vapor dobles se refiere al caso en que se instala un retardante de vapor en dos lugares diferentes en un muro de tal forma que cualquier humedad que se cuela entre ellos no puede secar con efectividad. Cuando, los materiales entre los retardantes de vapor son sensibles a la humedad, esta humedad atrapada puede llevar a un posible daño. La humedad entre los retardantes de vapor puede ser el resultado de filtración de aire, ingreso de agua de lluvia o humedad integrada a la construcción. La siguiente figura ilustra una situación de barrera doble de vapor que limita el secado de un ensamble de muro.



Corte transversal vertical esquemático que muestra la humedad atrapada en un ensamble de muro debido a la presencia de dos barreras de vapor.

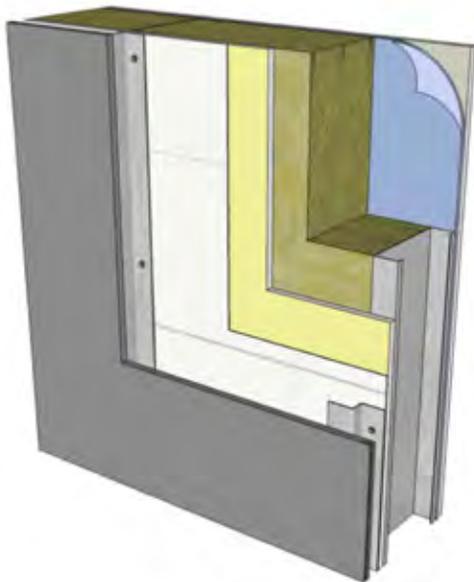
Diseño del ensamble de muro y difusión de vapor

Muros huecos de postes con aislante

Los muros que tienen aislante sólo dentro de la cavidad de postes ofrecen un control de vapor diferente dependiendo del tipo de clima. En los climas fríos proporciona un retardante de vapor en el lado interno del ensamble, mientras que en los climas cálidos lo proporciona hacia el exterior.

Muros huecos de postes con aislante – Climas fríos

Para ensambles de muros en climas fríos, el control de vapor interior con frecuencia se realiza con una lámina de polietileno como barrera de vapor, aunque también se utilizan otras opciones como pintura barrera de vapor, papel kraft y productos inteligentes retardantes de vapor. Este retardante de vapor interior limita la difusión de la humedad a través del ensamble de muro hacia el exterior. El secado de la difusión de calor hacia afuera puede todavía darse dentro de la cavidad del muro hacia el exterior a través del revestimiento, membrana y recubrimiento.

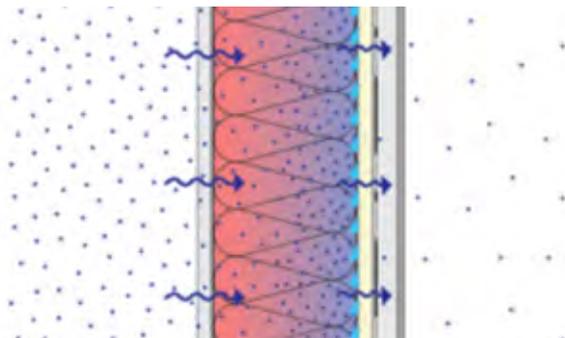


Un ensamble de muro de postes con aislante utilizando aislante en colcha de lana mineral es relativamente estándar y sencillo.

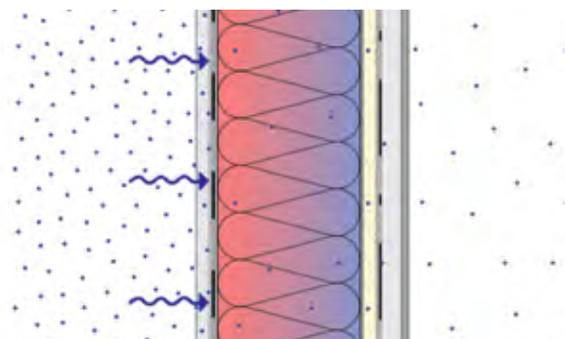
Si no se coloca este retardante de vapor, el vapor se podría difundir desde el interior hacia el exterior. A medida que la temperatura cae a través del aislante por el mismo nivel absoluto de humedad dentro del aire, aumenta la humedad relativa (HR), y cuando entra en contacto con una superficie fría (por debajo de la temperatura de punto de rocío), el agua puede condensarse dentro del ensamble. Con mayor frecuencia esto ocurre en la cara interior del revestimiento del muro exterior. Debe hacerse notar que si la presión de vapor interior es baja (baja HR interna), entonces la condensación puede no presentarse en el revestimiento.

Esto explica por qué en las casas antiguas con una alta filtración de aire, altas tasas de ventilación y menores niveles de HR, la difusión del vapor puede no haber causado humedecimiento, aunque en una casa nueva más hermética sí. Aunque no se forme condensación, los altos niveles de HR llevan a crecimiento de hongos sobre los materiales de construcción, por lo que de preferencia la mayor parte del tiempo la HR debe mantenerse por debajo del 80%.

Las dos figuras siguientes ilustran cómo el control interior del vapor en un muro hueco de postes con aislante puede ayudar a evitar la condensación dentro del ensamble de muro en climas fríos. La condensación también puede presentarse si el aire se filtra del interior a la parte posterior del revestimiento. Con frecuencia esto puede causar mayor daño localizado que la sola difusión del vapor.



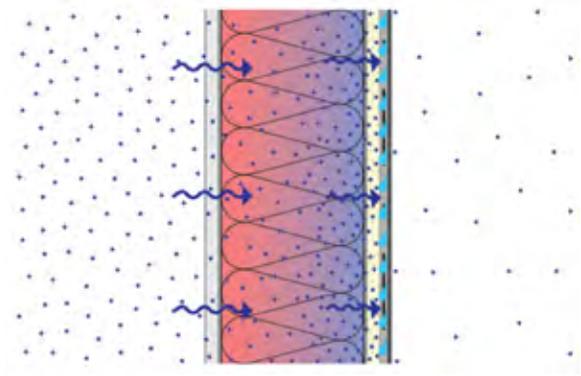
Corte transversal vertical esquemático del muro sin control de vapor interior en un clima frío que da como resultado condensación en la cara interior del revestimiento exterior de yeso.



Corte transversal vertical esquemático de muro con control de vapor interior en un clima frío que impide la difusión de la humedad hacia el ensamble de muro.

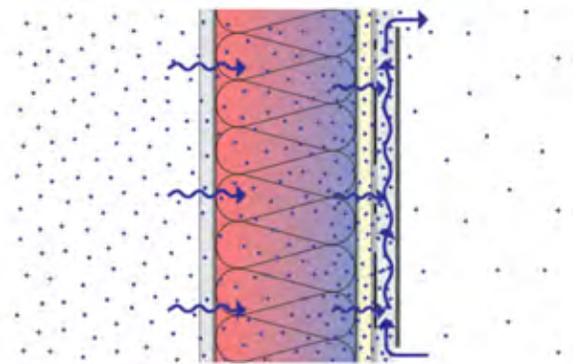
En comparación con el escenario anterior, consideremos un ensamble de muro de postes con aislante en un clima frío con un material retardante de vapor instalado sobre el lado exterior del aislante en condiciones invernales. La difusión de vapor en este escenario se presenta

del interior al exterior; sin embargo, se impide que la humedad se difunda hacia afuera y se acumulará en forma de condensación lo que causará daño. Éste es un ejemplo de lo que puede pasar cuando se instala una barrera de vapor en el lado equivocado de un ensamble. La barrera de vapor en este escenario podría ser creada por el tipo equivocado de membrana de revestimiento, el uso excesivo de aplicación de membrana bituminosa autoadherente en las penetraciones y en los detalles, o la instalación de un recubrimiento impermeable al vapor como puede ser un panel de fibrocemento, recubrimiento de vidrio o revestimiento exterior de metal. La figura siguiente ilustra ejemplos de esta situación y por qué es importante la colocación correcta de la barrera de vapor.



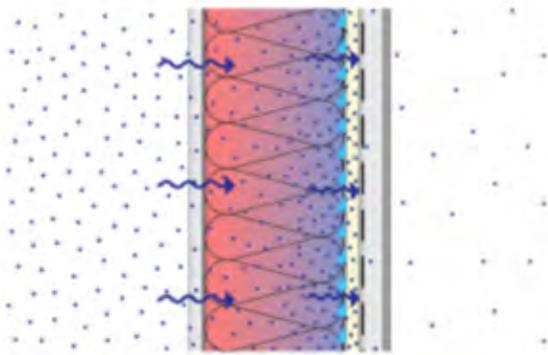
Corte transversal vertical esquemático de un muro con recubrimiento no ventilado impermeable al vapor localizado en un clima frío.

Una manera sencilla de manejar los recubrimientos impermeables al vapor es proporcionando un espacio de aire y ventilación detrás del recubrimiento de tal manera que el flujo de aire del exterior elimine la humedad depositada sobre el recubrimiento mediante difusión de vapor hacia afuera. Ya que muchos de los recubrimientos comerciales son impermeables (es decir, metal, concreto, chapa, etc.) esto se logra por lo general construyendo una cavidad de pantalla contra lluvia drenada y ventilada. En algunos códigos de construcción se ha incluido el requisito de contar con ventilación detrás de los recubrimientos impermeables al mismo tiempo que se introdujeron las barreras de vapor interiores. En la figura siguiente se ilustra la ventilación de un recubrimiento impermeable.



Corte transversal vertical esquemático de muro con recubrimiento impermeable al vapor localizado en un clima frío con ventilación detrás del recubrimiento para permitir la disipación de humedad.

Secado por difusión de vapor
Es importante hacer notar que la difusión de vapor también ayuda en el secado de ensambles si se humedecen debido a condensación o filtración de aire o agua. En un clima frío, cuanto más permeable al vapor sea el revestimiento, la membrana de revestimiento y las capas de recubrimiento, con mayor rapidez se secará la humedad y por lo tanto se reduce el riesgo de daño. Es por esto que en algunos casos muros sin barreras de vapor pueden tener un buen desempeño pues la capacidad de secado excede la humedad.



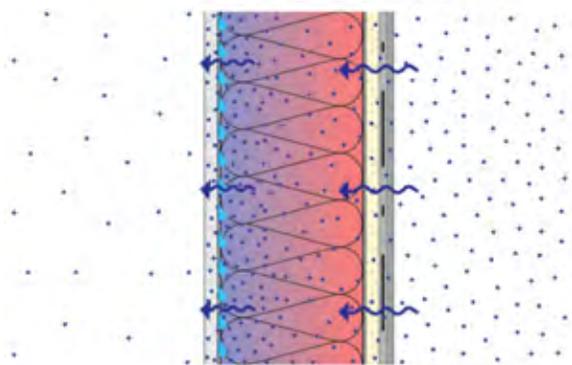
Corte transversal vertical esquemático del muro con membrana de barrera de vapor en el revestimiento del muro exterior en un clima frío.

Muros huecos de postes con aislante – Climas cálidos

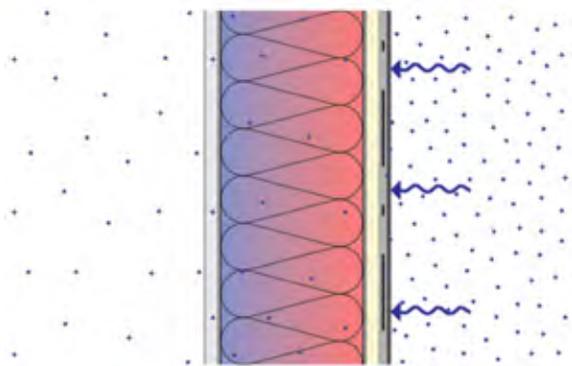
Para climas cálidos, instalar un retardante de

vapor interior puede crear un riesgo importante de condensación dentro del ensamble de muro. Un ejemplo común no intencional de esto es el uso de papel tapiz de vinilo. El papel tapiz de vinilo actúa como un retardante de vapor interior y en combinación con el movimiento del vapor hacia adentro puede llevar a acumulación

de humedad dentro del ensamble. Por otra parte, en climas cálidos donde se tiene aire acondicionado, la difusión ocurre principalmente del exterior al interior, y debe contarse con un retardante de vapor exterior como puede ser una membrana impermeable autoadherente o aislante rígido de espuma plástica (como XPS, espuma de poliuretano de media densidad, etc.) o concreto. Las dos figuras siguientes muestran el efecto de un retardante de vapor exterior en comparación con un retardante de vapor interior para un ensamble de muro de postes con aislante en un clima cálido.



Corte transversal vertical esquemático de muro sin control de vapor exterior en un clima cálido que da como resultado condensación en la cara exterior del revestimiento de yeso interior.

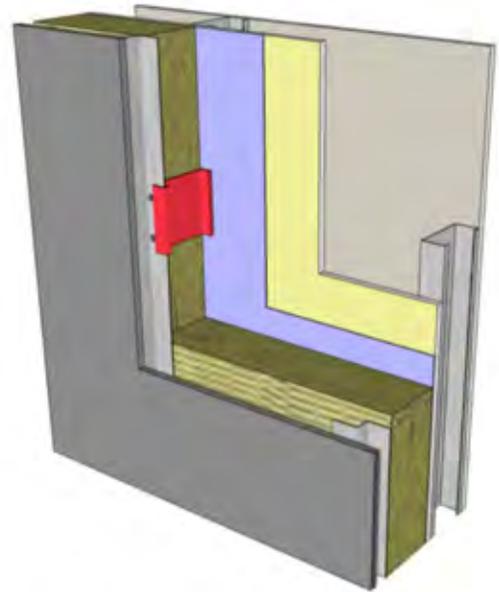


Corte transversal vertical esquemático de muro con control de vapor exterior en un clima cálido que evita que se acumule humedad dentro del ensamble de muro.

Muros con aislante exterior

En lugar de aislar los muros dentro de la cavidad de postes puede utilizarse aislante exterior, y este enfoque para el aislamiento de ensambles de muros también puede ser efectivo para muros de concreto

- CMU (unidad de mampostería de concreto). En estos muros el aislante se instala en el exterior del revestimiento del muro o, con menor frecuencia en edificios comerciales, se instala como revestimiento de muro. Esta sección principalmente aborda el caso cuando se instala en el exterior del revestimiento.

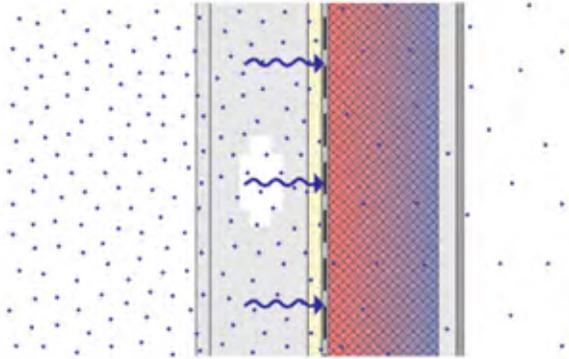


Un mur à isolation extérieure utilisant des panneaux semi-rigides de laine minérale peut présenter un moyen d'isolation efficace. De plus, ce type de mur offre une grande durabilité par rapport à la diffusion de vapeur et à la condensation.

El aislante exterior con frecuencia se considera una manera efectiva de lograr ensambles de muro con un alto nivel de aislamiento y puede reducir sustancialmente los puentes térmicos. Además de estos beneficios térmicos, el aislante exterior puede también dar como resultado un ensamble sólido con respecto a condensación y difusión de vapor.

El uso de aislante exterior cambia el perfil de temperatura a través del ensamble de muro y por lo tanto el muro de respaldo, sea concreto, CMU, o poste de acero con revestimiento, se mantiene relativamente igual a las condiciones interiores. Además, ya que casi siempre se aplica una membrana de revestimiento al muro de respaldo detrás del aislante de estos ensambles, los materiales sensibles a la humedad por lo general se localizan en el lado interior del aislante y la membrana de revestimiento donde permanecen calientes y secos, dando como resultado un ensamble de muro muy durable en todos los climas.

En climas fríos puede utilizarse una membrana de revestimiento impermeable al vapor para controlar la difusión de vapor a través de estos ensambles de muro. A medida que se difunde la humedad en el aire del interior hacia el exterior, la membrana de revestimiento limita esta difusión aunque sigue estando en el lado cálido del aislante y por lo tanto evita la condensación dentro del aislante exterior. Esto se ilustra en la siguiente gráfica.



Corte transversal vertical esquemático de un muro aislado en el exterior con membrana de barrera de vapor sobre el revestimiento del muro exterior en un clima frío.

Es interesante hacer notar que una ventaja de los ensambles de muro aislados totalmente en el exterior es que en muchos casos no se requiere el control de la difusión del vapor. Por ejemplo, en un clima frío, si se utiliza una membrana de revestimiento permeable al vapor en lugar de una membrana impermeable al vapor, el vapor del interior podrá difundirse desde el interior hacia el exterior relativamente sin restricción. Este vapor es muy probable que se condense al moverse hacia afuera sobre una superficie como es la parte posterior del recubrimiento; sin embargo, los materiales instalados en la parte exterior de la membrana de revestimiento deben ser durables al humedecimiento y por lo tanto la cantidad de humedad depositada por la condensación de la difusión del vapor es improbable que sea perjudicial. Para dar lugar a este potencial de humedecimiento, los ensambles aislados en el exterior sin una capa de control de vapor

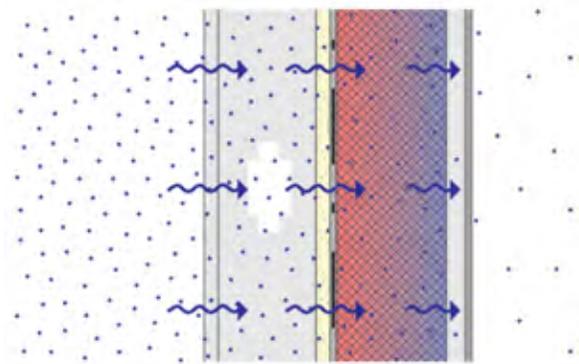
(es decir, "abiertos al vapor") deben incluir ventilación del recubrimiento para permitir el secado. Donde existan niveles de humedad extremos, como en caso de las albercas, este enfoque de abierto al vapor puede no ser el adecuado, y es posible que se requiera una barrera de vapor.

De la misma manera, en un clima cálido, a medida que la humedad se difunde hacia adentro a través del ensamble llegará a una superficie fría en la membrana de revestimiento. El propósito de esta membrana es evitar la infiltración de agua líquida desde el exterior y por lo tanto el humedecimiento de esta superficie por condensación está dentro de las características esperadas de desempeño del material y es improbable que sea perjudicial. Al igual que en un clima frío, el área entre la membrana de revestimiento y el recubrimiento debe estar

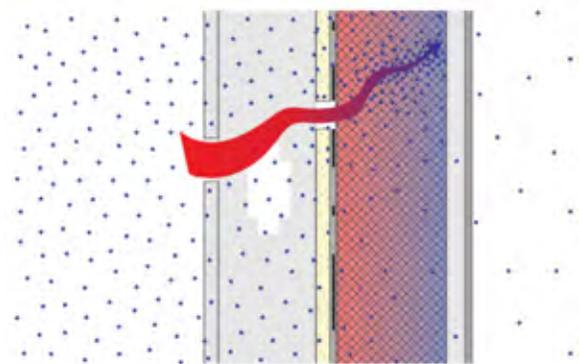
diseñada para permitir el drenado y secado de cualquier humedad que se acumule.

Un aspecto importante de los muros aislados en el exterior es que su diseño los hace muy durables con respecto a la condensación debida a filtración de aire. Aun cuando la filtración de aire en un muro hueco de postes con aislante puede con frecuencia ser perjudicial, este riesgo se reduce sustancialmente en un ensamble aislado en el exterior. Por ejemplo, en un clima frío, si el aire interior caliente y húmedo se filtrara a través de un ensamble aislado en el exterior, es improbable que se condense sobre una superficie sensible a la humedad en la parte interior del aislante. Por el contrario, se condensará sobre los materiales exteriores como el recubrimiento, y estos materiales son durables al humedecimiento. Una excepción notable es cuando la temperatura exterior está por debajo del punto de congelación. En este caso, la filtración de aire interior al exterior puede crear una importante acumulación de hielo sobre las superficies frías como el recubrimiento, y este hielo puede dañar el ensamble.

La siguiente imagen muestra muros aislados en el exterior sin retardante de vapor y donde se presenta filtración de aire.



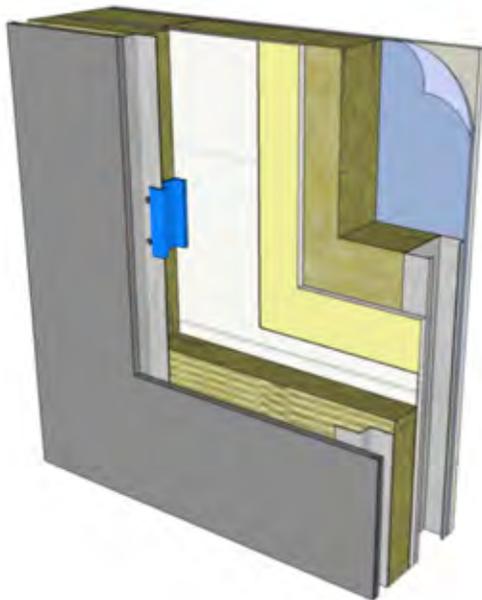
Corte transversal vertical esquemático de un muro aislado en el exterior en un clima frío sin barrera de vapor.



Corte transversal esquemático de un muro aislado en el exterior en un clima frío sin barrera de vapor y filtración de aire.

Muros con aislante dividido, adentro y afuera

En algunos casos puede ser una ventaja utilizar ensambles de muros con aislante dividido adentro y afuera; es decir, ensambles en los cuales se coloca aislante tanto en el hueco de postes y sobre el exterior del revestimiento (o menos frecuente, como el revestimiento mismo en edificios comerciales). Por lo general se utilizan ya que pueden proporcionar el valor R necesario en un ensamble relativamente compacto (es decir, más delgado). Como se podría suponer, estos muros esencialmente son una mezcla que funciona como ensamble de muro hueco de postes con aislante y ensamble de muro con aislante exterior, pero existe un número de consideraciones que deben tomarse en cuenta.



Ensamble de muro con aislante dividido utilizando aislante semirrígido de lana mineral para ofrecer una combinación del desempeño de muro de postes con aislante y muro con aislante exterior. Estos muros pueden ofrecer un buen desempeño con respecto a la difusión del vapor y la filtración de aire, pero es importante utilizar el tipo correcto de aislante en el exterior y dentro de la cavidad de los postes, así como el tipo correcto de membrana de revestimiento.

Como se dijo antes, agregar aislante exterior mantendrá el revestimiento más cerca de la temperatura interior. En un ensamble con aislante dividido, cuanto más aislante se coloque en la parte exterior del revestimiento en comparación con el aislante dentro de la cavidad, más cerca estará el revestimiento a las condiciones interiores, y por lo tanto estos muros estarán más como muros exteriores aislados. Este concepto se expresa con frecuencia en términos de una relación de aislamiento nominal-externo a total. Por ejemplo, si se coloca en

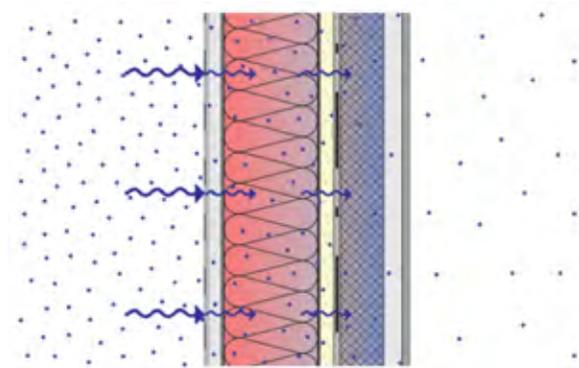
el exterior un aislante rígido R-6 afuera de un aislante en colcha R-14 dentro del espacio de postes para un aislamiento total de R-20 nominal, la relación aproximada es 30% (ó 3:10) del aislante exterior excluyendo otros materiales. En conjunto, cuanto menor sea esta relación, más cerca estará el desempeño a un muro de postes con aislante, y cuanto mayor sea la relación, más cerca estará el desempeño al de un muro con aislante exterior.

Dado que los muros con aislante dividido caen en una categoría con respecto a su desempeño entre muros

de postes con aislante y muros exteriores con aislante, existen importantes consideraciones con respecto a la difusión de vapor. Por lo general, el aislante exterior mantendrá el revestimiento más cerca de las condiciones interiores, pero si es una fracción relativamente pequeña del aislante global en el muro, el revestimiento seguirá operando en condiciones similares al exterior. En esta situación, deberá considerarse la permeabilidad al vapor del aislante.

Aislante permeable al vapor

El escenario de muro con aislante dividido se muestra en la siguiente figura en condiciones invernales en un clima frío.



Corte transversal vertical esquemático de un muro con aislante dividido en un clima frío que muestra el movimiento del vapor hacia afuera a través del muro con un retardante de vapor Clase III en el interior.

Se ha colocado en el exterior del revestimiento aislante de lana mineral permeable al vapor. Esto tiene el efecto de calentar el espacio entre los postes y el revestimiento exterior; cuanto más aislante exterior tenga, más cálida la cavidad y el revestimiento. No se ha utilizado material de barrera de vapor interior o exterior, aunque puede ser necesario un retardante de vapor Clase II o III para evitar la condensación o altos niveles de HR, dependiendo del grosor del aislante exterior y del gradiente de presión de vapor (condiciones esperadas en el interior y exterior). En climas moderadamente fríos y en la mayoría de las condiciones interiores dentro de edificios comerciales, la instalación de unas cuantas pulgadas de lana mineral en el exterior de un muro de postes con aislante de 6" es

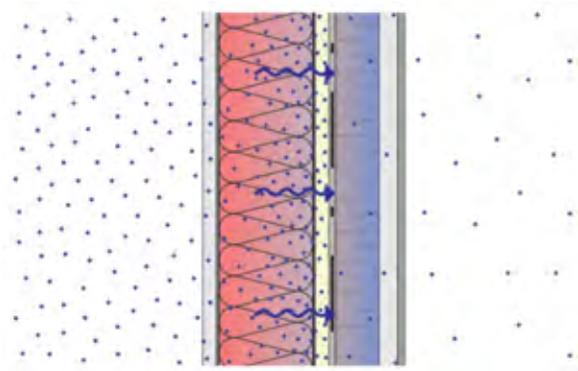
suficiente para asegurar un buen desempeño cuando se utiliza un retardante de vapor Clase III (pintura de látex) en el interior del muro seco. Un buen desempeño por lo general significa mantener la HR en el revestimiento por debajo del 80%. En los edificios con altos niveles de humedad interior como son albercas o museos, se requiere muy probablemente una barrera de vapor Clase I o II.

La diferencia de presión del vapor del interior al exterior dentro de este escenario es la misma que en los casos anteriores y no se ve afectada por el aislante exterior. Sin embargo, la temperatura dentro de la cavidad de postes es más alta y por lo tanto la HR en el revestimiento no aumenta tanto. Como resultado, no se crea condensación dentro de la cavidad y el vapor pasa a través del revestimiento y del aislante permeable al vapor sin perjuicio alguno. La HR dentro de la cavidad detrás del revestimiento dependerá de la relación de aislamiento y de la tasa a la que se da el secado a través del revestimiento. Por lo tanto, cuanto más permeable al vapor sea el revestimiento y el aislante, menor será la HR dentro de la cavidad.

Debido a que aumenta la temperatura del revestimiento, se reduce el riesgo de condensación del aire filtrado lo que aumenta aún más la durabilidad del muro. Al atender la difusión de vapor y el humedecimiento por filtración de aire, el único riesgo de daño por humedad puede venir de una infiltración externa. Sin embargo, debido a que el revestimiento se mantiene más caliente por el aislante, puede secarse más rápido y en este ensamble de muro la humedad se secará tanto hacia adentro como hacia afuera por la difusión de vapor a través de materiales relativamente permeables al vapor.

Aislante impermeable al vapor

Consideremos el mismo ensamble de muro que en el escenario anterior, pero con espuma aislante impermeable al vapor (p.e., XPS, poliiso, espuma de poliuretano de media densidad, etc.) utilizada al exterior del revestimiento. Estos materiales aislantes pueden considerarse retardantes de vapor Clase I o II dependiendo del tipo, densidad, grosor y revestimiento.



Corte transversal vertical esquemático de un muro con aislamiento dividido localizado en un clima frío con aislamiento exterior impermeable.

La espuma aislante impermeable al vapor con el mismo valor R del escenario anterior colocada en el exterior del revestimiento tiene el efecto de calentar el resto de la cavidad; cuanto más sea el aislante exterior, más caliente serán la cavidad y el revestimiento.

En este escenario no se ha instalado barrera de vapor interior, ni tampoco se recomendaría que se hiciera, ya que incluir una barrera de vapor (Clase I o II) en el interior junto con la espuma exterior crearía una situación de barrera de vapor doble que restringiría enormemente

el secado. Este muro, por lo tanto, dependerá del secado por difusión de vapor hacia el interior, ya que el secado por la difusión de vapor a través del aislante exterior está limitado. En términos de lograr un equilibrio entre las fuentes de humedecimiento y la capacidad de secado, se trata de un muro más sensible que en el escenario anterior como resultado de utilizar un aislante exterior impermeable.

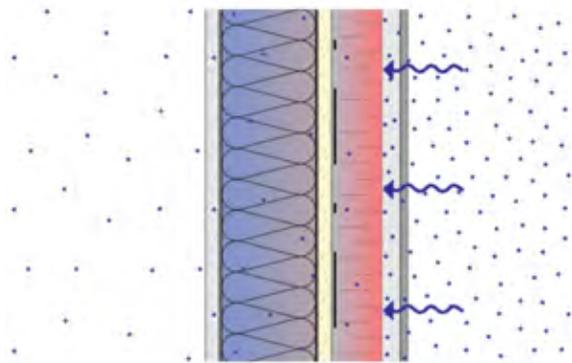
Esto es particularmente importante si la humedad interior dentro del edificio es elevada o el clima exterior es húmedo, lo que puede crear mayores niveles de humedad relativa interiores durante los períodos fríos del año. Incluso niveles más altos de HR interior durante el invierno entre 40 y 60% (como en los climas de la costa o en edificios comerciales con altas tasas de generación de humedad interna como restaurantes, albercas, museos, etc.) pueden crear un reto para el ensamble debido a una mayor difusión de vapor hacia afuera y un menor potencial de secado.

Dentro de este escenario, la diferencia de presión del vapor del interior al exterior es la misma que en los escenarios anteriores; no se ha visto afectada por la presencia de aislante exterior. Aunque la difusión de vapor hacia afuera es mucho más lenta, o se detiene por completo, la condensación no se presenta dentro de la cavidad del muro porque la temperatura es lo suficientemente caliente para mantener la HR por debajo del 100%. Aun cuando no se forme condensación dentro de la cavidad de este ensamble, se impide que la humedad pase a través del aislante exterior, lo que puede ser un problema en caso de una filtración o si no se cuenta con

suficiente aislante exterior para evitar la condensación de filtración de aire. La HR dentro de la cavidad detrás del revestimiento dependerá de la relación de aislamiento y la permeancia efectiva del vapor de la espuma aislante. Con este ensamble, por lo general es más seguro tener más aislante exterior (o una mayor relación de aislamiento) que con aislante permeable al vapor de tal manera que la HR se mantenga por debajo del 80% para reducir el riesgo de crecimiento de hongos.

Al igual que con el muro exterior aislado con aislante permeable al vapor, en este muro se reduce el riesgo de condensación del aire filtrado debido al aumento en la temperatura del revestimiento. Si se atienden la difusión del vapor y el humedecimiento por filtración de aire colocando suficiente aislante exterior, el único riesgo de daño por humedad puede venir de infiltración externa. En el caso de una infiltración, el secado hacia el exterior mediante difusión de vapor queda restringido por la espuma, y el secado sólo puede darse en dirección hacia adentro. Las soluciones para mejorar el secado hacia afuera incluyen proporcionar una pequeña capade drenado detrás de la espuma o utilizar aislante más permeable al vapor. La hermeticidad relativa con la que se instala la espuma rígida aislante y cómo se sellan las juntas también afecta la capacidad de secado hacia afuera.

En un clima cálido donde el vapor se mueve principalmente hacia adentro, el uso de aislante exterior impermeable puede ofrecer una estrategia efectiva de control de vapor. En este caso el aislante exterior restringe la difusión de vapor de agua a través del ensamble de muro como se muestra en la figura siguiente.



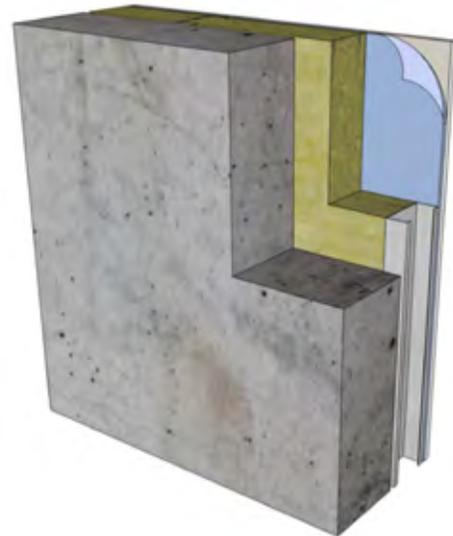
Corte transversal vertical esquemático de un muro con aislante dividido localizado en un clima cálido con aislante exterior impermeable.

En este escenario no se proporcionaría ningún retardante de vapor interior de tal manera que el ensamble de muro pueda secarse con efectividad hacia el interior.

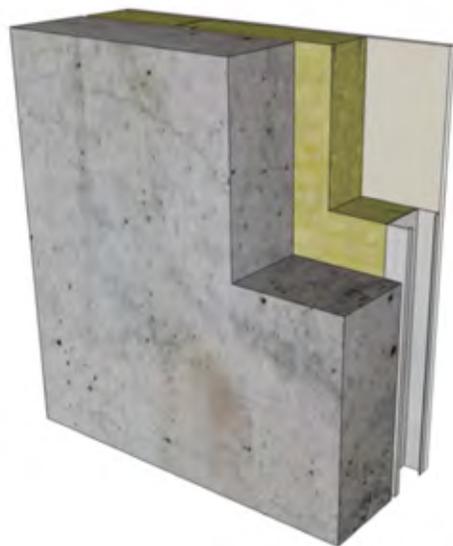
Muros de concreto expuesto con aislante interior

En la construcción comercial se utiliza comúnmente otro tipo de muro: el concreto arquitectónico o expuesto, o en algunos casos unidades de mampostería de concreto

(CMUs). Estos muros son aislados en el interior y crean una situación diferente a los muros presentados anteriormente. Las figuras siguientes muestran este tipo de muros para climas cálido y frío

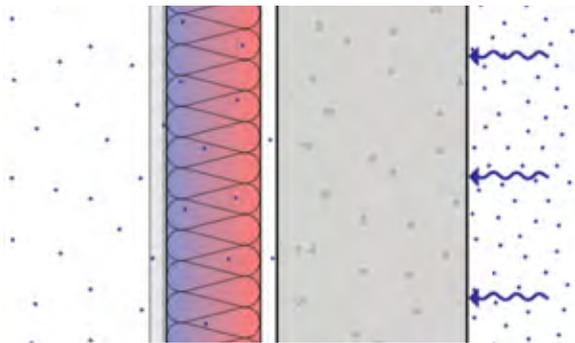


Ensamble de muro de concreto expuesto aislado en el interior como se haría normalmente para clima frío.



Ensamble de muro de concreto expuesto con aislante en el interior pero sin barrera de vapor de lámina de polietileno en el interior. Este tipo de ensamble puede tener un desempeño durable en climas cálidos.

El concreto expuesto y los CMUs crean un retardante de vapor sobre el exterior del ensamble de muro que funciona bien para climas cálidos en los cuales el movimiento básico de vapor es hacia adentro. El concreto restringe el flujo de vapor a través del ensamble y por lo tanto evita la condensación y altos niveles de humedad dentro del ensamble. La imagen siguiente ilustra esto en forma esquemática.



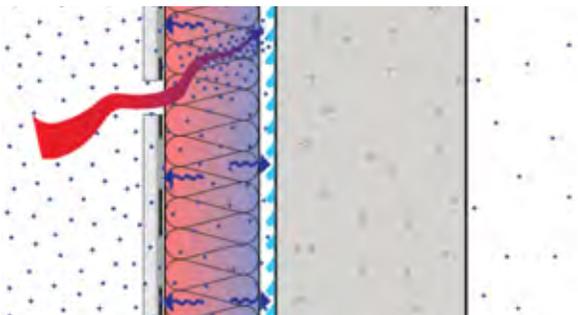
Ensamble de muro de concreto expuesto aislado en el interior pero sin lámina de polietileno como barrera de vapor en el interior. Este tipo de ensamble puede tener un desempeño durable en climas cálidos.

El uso de un aislante permeable al vapor en el interior de los muros de concreto en climas cálidos puede también permitir que cualquier humedad incidental seque

hacia el interior. Por el contrario, un producto aislante impermeable limitaría el secado hacia el interior.

En climas fríos, el retardante de vapor exterior creado por el concreto plantea un riesgo de condensación dentro del ensamble. Además, como esto casi siempre se instalaría con un retardante de vapor interior en un clima frío, se crea una situación de doble barrera de vapor, lo que limita el secado.

La siguiente figura ilustra un muro de concreto expuesto con aislante en colcha y una barrera de vapor de lámina poli en el interior. No se recomienda este enfoque ya que crea una doble barrera de vapor.



Corte transversal vertical esquemático de un muro de concreto expuesto aislado en el interior con una barrera de vapor interior que muestra cómo la filtración de vapor puede causar acumulación de humedad dentro del ensamble, que no puede secarse debido a las barreras de vapor dobles.

Existe una gran variedad de métodos alternativos para aislar este tipo de muros en climas fríos. Las espumas de spray de poliuretano se pueden aplicar directamente al concreto, al CMU o al prefabricado, o en algunos casos puede también utilizarse aislante de poliisocianurato o panel aislante rígido de poliuretano extruido (XPS). En ambos casos el aislante proporciona un control de vapor y una barrera al aire de tal manera que no se filtra el aire desde el interior y se condensa en la parte posterior del concreto. En algunos casos, utilizar un retardante de vapor inteligente en lugar de una lámina poli puede también reducir el riesgo asociado con los ensambles de concreto con aislante interior.

Por lo general, los muros de concreto expuesto o CMUs ofrecen durabilidad y solidez en climas cálidos, pero pueden presentar algunos retos cuando se utilizan en climas fríos.

Recubrimientos que guardan humedad y movimiento de vapor hacia adentro

Otra situación única para la difusión del vapor es cuando se utilizan recubrimientos que guardan humedad como concreto preformado o mampostería. Cuando se exponen estos recubrimientos al humedecimiento pueden absorber y guardar cantidades importantes de humedad. Entonces, si sale el sol y calienta el recubrimiento húmedo puede crearse una condición de alta humedad en el exterior del edificio lo que causará un desplazamiento significativo de vapor hacia adentro incluso en un clima frío o mixto. En otras palabras, cuando se utilizan recubrimientos que guardan humedad en climas fríos, algunas veces la dirección de la difusión del vapor puede revertirse.

Como se mencionó para otros tipos de muros con respecto a las diferencias entre climas cálidos y fríos, cuando se invierte el movimiento de vapor, cambia el diseño relacionado con el control de la difusión de vapor. La siguiente figura ilustra esta inversión del movimiento de vapor para un muro con revestimiento que guarda humedad.

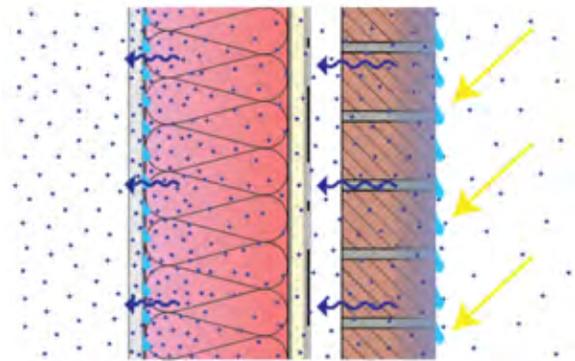


Illustration d'une section verticale d'un mur à cloison isolée et du stockage d'eau au niveau du parement menant à une diffusion de vapeur vers l'intérieur, malgré un climat froid.

Esta inversión del movimiento de vapor crea un problema porque por lo general los muros están diseñados para manejar la difusión de vapor en una sola dirección. Existen diferentes maneras de diseñar un muro para manejar este efecto.

- Proporcionar una cavidad bien ventilada entre el revestimiento que almacena humedad y el muro de respaldo
- Utilizar un ensamble de muro aislado en el exterior
- Utilizar un ensamble de muro con aislante dividido con una cantidad adecuada de aislante exterior
- Utilizar una membrana de revestimiento moderadamente permeable (es decir, aproximadamente de 8 a 18 permios americanos) para proporcionar algún control de vapor hacia adentro
- Utilizar un retardante de vapor inteligente en el interior del muro que ofrezca un control de difusión de vapor adaptable para permitir el secado hacia adentro

En términos generales, esta inversión en el movimiento del vapor en los muros con recubrimiento que guarda humedad es casi siempre menor problema que el movimiento constante de vapor hacia afuera.

Resumen

El control de la difusión de vapor dentro de los muros se logra encontrando un equilibrio entre minimizar el humedecimiento y maximizar la capacidad de secado. Si se colocan correctamente las capas de control de vapor evitan que la humedad excesiva se difunda hacia los ensamblajes de muro y pueda condensarse, y los materiales permeables al vapor permiten la difusión de la humedad y promueven el secado. En el diseño y construcción de muros comerciales en climas fríos, ha sido una práctica común instalar una lámina de polietileno como barrera de vapor en el interior del aislante para controlar el flujo de vapor (y con frecuencia el flujo de aire) y por lo tanto limitar el humedecimiento por difusión de vapor, utilizando materiales permeables al vapor hacia el exterior para promover el secado. En climas cálidos se utiliza un enfoque opuesto: los materiales impermeables en el exterior como son concreto, CMU o recubrimientos de metal restringen la difusión de vapor a través del ensamble de muro, y los materiales permeables en el interior como es el aislante de lana mineral y muro seco permiten el secado hacia el interior.

Cuando se agrega aislante al exterior de los muros, como es el caso en los muros aislados en el exterior o de muros con aislante dividido, adentro y afuera, este aislante mantiene la temperatura de la cavidad entre los postes y del revestimiento exterior más cercana a las condiciones interiores reduciendo así el potencial de difusión de vapor y la condensación de filtraciones de aire dentro

de la cavidad. Cuanto más aislante se instala en la parte exterior del revestimiento, más cerca estará la cavidad entre los postes a las condiciones interiores. Siempre que sea posible, deberá maximizarse la relación del aislante exterior, y los muros totalmente aislados en el exterior funcionan bien en climas cálidos y en climas fríos.

En climas fríos, el tipo de aislante instalado afuera del revestimiento (o como revestimiento) tiene un importante impacto en la capacidad de secado del muro por difusión de vapor. Los aislantes permeables al vapor como la lana mineral la fibra de vidrio permitirán un mayor secado hacia afuera de lo que puede lograrse con aislante impermeable al vapor como son las espumas plásticas, XPS, poliiso y spray de poliuretano. Esta mayor capacidad de secado por lo general da como resultado una mejor durabilidad del ensamble de muro.

En algunos casos, el cambio en el perfil de temperatura debido a la adición de aislante exterior significa que puede no ser necesaria una barrera de vapor en el interior en climas fríos, y pueden utilizarse estrategias alternativas como pintura de látex en lugar de polietileno. Cuando se utiliza un aislante exterior impermeable al vapor en climas fríos, deberá evitarse el retardante de vapor interior para evitar que la humedad quede atrapada dentro del ensamble de muro, o podría utilizarse un material retardante de vapor inteligente con permeancia adaptable. En climas cálidos, el aislante exterior impermeable al vapor restringirá el flujo de vapor a través del muro y evitará la acumulación de humedad dentro del ensamble.

Aunque por lo general para climas fríos no se recomiendan los muros con materiales impermeables al vapor en la parte exterior, este tipo de muros pueden ofrecer durabilidad en climas cálidos donde se invierte el movimiento básico del vapor. Por ejemplo, los muros de concreto expuesto aislados en el interior con aislante permeable al vapor como la lana de roca o la fibra de vidrio pueden ofrecer mayor durabilidad en climas cálidos.

Otro tipo de muros como los recubrimientos que guardan humedad crean condiciones únicas con respecto a la difusión de vapor, y requieren un diseño y consideración cuidadosos. Al diseñar estos muros deberán evitarse situaciones de barrera de vapor dobles para que pueda darse el secado.

En resumen, la selección y colocación correctas de materiales impermeables al vapor dentro de ensamblajes de muro son fundamentales para su durabilidad tanto en climas fríos como cálidos. Si no se toman en cuenta correctamente los impactos de la difusión del vapor eso puede causar daño y llevar a un deterioro prematuro de los ensamblajes de muro.

En el Grupo ROCKWOOL, estamos comprometidos a enriquecer la vida de todos los que entran en contacto con nuestras soluciones. Tenemos la experiencia idónea para afrontar muchos de los desafíos de desarrollo y sustentabilidad más importantes de la actualidad, desde el consumo energético y la contaminación sonora hasta la resistencia a los incendios, la escasez de agua y las inundaciones. Nuestra gama de productos refleja la diversidad de las necesidades del mundo y respalda a la vez a nuestros clientes a fin de reducir su propio impacto ambiental.

La lana de roca es un material versátil que constituye la base de todas nuestras actividades comerciales. Con más de 11,000 empleados en 39 países, somos el líder mundial en soluciones de lana de roca, desde aislamientos para edificios, techos acústicos, sistemas de revestimientos exteriores y soluciones hortícolas hasta fibras diseñadas para usos industriales, aislamientos para la industria de procesamiento y soluciones marinas y oceánicas.

ROXUL®, AFB®, CAVITYROCK®, COMFORTBATT®, CONROCK®, CURTAINROCK®, ROCKBOARD®, TOPROCK®, MONOBOARD® y ROXUL® son marcas registradas del Grupo ROCKWOOL en EE. UU. y ROXUL Inc. en Canadá.

ROCKWOOL™, COMFORTBOARD™, ABROCK™, ROXUL SAFE™, ROCKWOOL PLUS™ y AFB evo™ son marcas comerciales del Grupo ROCKWOOL en EE. UU. y ROXUL Inc. en Canadá.

SAFE'n'SOUND® es una marca registrada utilizada bajo licencia por Masonite Inc.



ROCKWOOL
8024 Esquesing Line
Milton, ON L9T 6W3
Tel: 1 800 265 6878
rockwool.com