

Ciencia de la construcción 101

Una guía para entender el enfoque en sistemas que se usa en la construcción de mejores viviendas y que ofrece a los clientes lo que desean

Ciencia de la construcción 101

Índice

Introducción	3
La casa como un sistema	3
Control del flujo de humedad, de calor y de aire	4
<u>Flujo de humedad</u>	4
Acción capilar	6
Humedad transportada por el aire	6
Difusión de vapor	7
Efectos del flujo de humedad en los ocupantes	8
Efectos del flujo de humedad en la durabilidad de la edificación	8
<u>Flujo de calor</u>	9
Fundamentos del flujo de calor	9
Factor-U	9
Valor-R	10
Aislamiento	10
Efectos del flujo de calor en los ocupantes	11
Efectos del flujo de calor en la durabilidad de la edificación	11
<u>Flujo de aire</u>	12
Flujo de aire controlado versus flujo de aire no controlado	15
Agujeros y vías	16
Presión de aire	17
Efectos del flujo de aire en los ocupantes	18
Efectos del flujo de aire en la durabilidad de la edificación	18
Efectos del flujo de aire en la eficiencia energética	18
Resumen	
<u>Acerca de Insulation Institute</u>	
<u>Acerca de Energy Vanguard</u>	

Introducción

Conocer la ciencia de la construcción puede ayudar a mejorar el rendimiento de la edificación y a satisfacer las necesidades de los compradores en cuanto a comodidad, durabilidad y eficiencia energética de sus viviendas. La ciencia de la construcción moderna nos ha proporcionado ventanas muy eficientes, superficies que refractan bien el calor, aislamiento y productos y prácticas innovadoras de sellado del aire. Sin embargo, es importante entender los roles de los diferentes componentes que actúan como capas de control. Estas innovaciones no producirán una estructura de alto rendimiento a menos que se utilicen de la manera prevista, se instalen de forma adecuada y estén diseñadas para funcionar como un sistema.

Hay dos pasos importantes a seguir para que la ciencia de la construcción funcione. El primero es entender el concepto de la casa como un sistema de tres elementos interdependientes: ubicación, clima y técnicas y materiales de construcción. El segundo es mejorar el rendimiento de ese sistema mediante el control del flujo de calor, de aire y de humedad.

La casa como un sistema

Diseñar y construir una vivienda o renovar una ya existente para que tenga una alta eficiencia energética requiere de planificación cuidadosa y de atención a los detalles. Con la ayuda de un enfoque integral en sistemas, propietarios, arquitectos y constructores pueden desarrollar estrategias para optimizar el rendimiento y la eficiencia energética de la vivienda.

El enfoque de "la casa como un sistema" considera la casa como un sistema energético con partes interdependientes, cada una de las cuales afecta el rendimiento del sistema en su conjunto. También toma en consideración los ocupantes, el sitio y el clima local. Entre los aspectos a considerar están:

- Condiciones del sitio
- Clima local
- Sellado del aire
- Aislamiento
- Alumbrado eléctrico e iluminación natural
- Ventilación, refrigeración y calefacción de espacios
- Calentamiento del agua
- Ventanas, puertas y tragaluces
- Electrodomésticos y aparatos electrónicos para el hogar

Algunos de los beneficios de utilizar un enfoque integral en sistemas son:

- Un ambiente interior más saludable y más seguro
- Mayor comodidad
- Reduce los costos de mantenimiento y de servicios
- Mejora la durabilidad de la edificación
- Reducción de ruido

El enfoque de "la casa como un sistema" considera la casa como un sistema energético con partes interdependientes.

Por supuesto, el clima tiene un impacto sobre el consumo energético de las viviendas residenciales y, aunque los códigos de construcción y los incentivos de eficiencia energética proporcionan lineamientos en cuanto a lo que funciona en un área particular, depende en última instancia de que los diseñadores y los constructores elijan métodos y materiales de construcción adecuados que garanticen que la vivienda disponga de tanta eficiencia energética como sea posible. A medida que la eficiencia energética pasa a ser una preocupación mayor, construir en función de la zona climática es una excelente manera de garantizar las mejores opciones a los compradores. Hay que tener presente que los códigos de construcción y los incentivos energéticos constituyen la norma mínima a seguir y que el rendimiento puede incrementarse más allá de ellos.

Control del flujo de humedad, de calor y de aire

Es esencial controlar el flujo de humedad, de calor y de aire dentro de una edificación a fin de proporcionar una vivienda saludable y duradera. He aquí los fundamentos del funcionamiento de cada uno de estos flujos dentro de una edificación.

Flujo de humedad

Controlar el flujo de humedad en una edificación tiene un impacto significativo en la salud y la seguridad de los ocupantes, así como en la comodidad, la eficiencia energética y la durabilidad de la edificación. La ciencia de la construcción se ocupa de las dos principales formas del flujo de humedad: la líquida y en vapor. La humedad líquida se desplaza de igual manera que el volumen de agua y lo hace por acción capilar; el vapor de agua se mueve a través de fugas de aire y lo hace por difusión.

El movimiento del volumen de humedad (o flujo líquido) puede ser extremadamente perjudicial para las construcciones. Generalmente concebido como lluvia o nieve, el movimiento del volumen de humedad también incluye el flujo de agua subterránea. Se requieren tres condiciones para que el volumen de humedad penetre en una edificación:

- Una fuente de agua
- Un agujero en la envolvente de la edificación
- Una fuerza motora (gravedad, acción capilar, viento, etc.)

En la mayoría de los lugares habrá agua durante al menos una parte del año. Las claves para controlar esa agua son dirigirla lejos de la vivienda y sellar cualquier orificio por el que pueda entrar.

Dirigir el agua hacia afuera de la casa se logra mediante nivelación, drenaje, canales y bajantes adecuados. El sellado apropiado se logra mediante la atención meticulosa a los detalles de impermeabilización y recubrimiento, el drenaje de los cimientos y el sellado de las instalaciones de puertas y ventanas.

Acción capilar

La acción capilar se refiere a la capacidad que tiene el agua para hacer un recorrido contra la fuerza de gravedad a través de un material poroso. Un ejemplo común de esta acción es el agua que se "absorbe" a través de una toalla de papel en posición

El flujo de líquido tiene el potencial para ser el más perjudicial mecanismo de transporte de humedad que una edificación puede enfrentar.

Al contrario de lo que se esperaría, la acción capilar requiere de pequeños agujeros o separaciones, en lugar de espacios más grandes.

vertical. Aunque comúnmente no es tan grave como el movimiento del volumen del agua, las fuerzas capilares son poderosas y difíciles de detectar, puesto que a menudo se producen en la oscuridad de un entrepiso causando daños significativos a una edificación sin que los ocupantes tengan conocimiento.

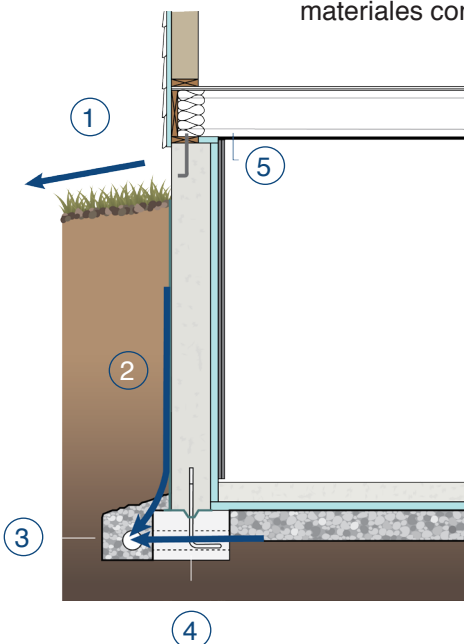
Al contrario de lo que se esperaría, la acción capilar requiere de pequeños agujeros o separaciones, en lugar de espacios más grandes. Los poros de gran tamaño, como los encontrados en algunos tipos de grava y de arcilla expansiva gruesa, realmente pueden servir para "romper" el flujo de agua capilar. Sin embargo, los poros más pequeños, como los que se encuentran en el hormigón y el ladrillo, proporcionan excelentes rutas para que ocurra esta acción de absorción.

Puesto que el hormigón se utiliza comúnmente en los cimientos de las edificaciones, a menudo observamos evidencias de capilaridad en sótanos y entrepisos. Las bases de hormigón absorben el agua de la tierra, desde donde hace el recorrido hasta la pared de los cimientos. La acción capilar se evidencia a menudo en muchos cimientos de ladrillos viejos como una línea blanca visible a una distancia de más o menos un pie por encima de la tierra. Esa línea blanca es causada por un proceso conocido como eflorescencia, que ocurre cuando se evapora el agua que se drena hacia arriba por acción capilar, dejando atrás un residuo de sales, minerales y otros materiales que quedan después de que el agua se evapora. Colocar láminas de plástico en los agujeros de la base antes de verter el hormigón puede ayudar a prevenir el drenaje de agua subterránea.

La acción capilar también es un problema que se presenta por encima del suelo. Incluso la colocación de dos materiales no porosos que estén dispuestos bastante juntos, proporcionará un canal para que ocurra la acción capilar. Un ejemplo común de esto ocurre con el revestimiento de madera pulida. El agua de lluvia que golpea el exterior de la casa bajará por el revestimiento hacia el borde. Las fuerzas capilares pueden entonces atraer las gotas de agua hacia arriba y por detrás del revestimiento, mojando de esta forma la parte de atrás de las láminas. Obviamente, estas formas de capilaridad pueden ser difíciles de observar hasta que ya se haya producido un daño grave.

La acción capilar se puede controlar mejor al proporcionar una "rotura" capilar, con materiales como el plástico, el metal, un compuesto impermeabilizante u otro elemento

impermeable, o dejando espacios de aire que sean demasiado grandes como para que se produzca la capilaridad. Por ejemplo, es esencial la instalación de un "sello de diquestrato" entre la base de mampostería y cualquier estructura de madera a fin de proteger la madera.



1. El suelo está inclinado para drenar el agua fuera de los cimientos.
2. La impermeabilización limita la migración de humedad desde el suelo a la pared de hormigón.
3. Cualquier agua que caiga contra la pared de los cimientos se drenará hacia abajo al relleno libre de drenaje y hacia afuera del perímetro de drenaje en la base.
4. Rotura capilar entre la base y la pared de los cimientos.
5. La rotura capilar entre la pared de los cimientos y la placa de diquestrato evita que la humedad migre del hormigón a la estructura de madera.

Humedad transportada por el aire

La humedad transportada por el aire (en forma de vapor de agua que es transportado por el aire) puede entrar o quedar fuera de las edificaciones. Como se mencionó anteriormente, tanto las fuentes de presión no controladas (como el viento o el efecto de apilamiento) como las fuentes controladas (ventiladores y unidades interiores) pueden mover importantes cantidades de aire húmedo a través de la envolvente de una edificación. La red de conductos con fuga puede causar problemas de humedad no solo al aumentar la cantidad de filtración, sino al extraer el aire de las áreas húmedas del entrepiso o del sótano. A medida que ese aire húmedo hace un recorrido a través de una edificación, la humedad puede condensarse en cualquier superficie cuya temperatura esté por debajo del punto de condensación.

La cantidad de condensación que se forma depende de varios factores: la temperatura de las superficies de condensación, la humedad relativa y la velocidad del aire en movimiento a través de la superficie de condensación. Las superficies más frías (como ventanas y paredes mal aisladas) condensan la humedad más rápidamente; el aire se mueve más lentamente y permite más tiempo para que se forme la condensación.

Hay varias maneras de disminuir los efectos negativos de la humedad transportada por el aire. La mejor defensa es mantener el aire húmedo fuera del edificio a través de un sellado eficaz contra la infiltración y la exfiltración, sellando la red de conductos y balanceando la presión de los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (Heating, Ventilation, and air Conditioning, HVAC). El uso apropiado de extractores en los baños y en las cocinas ayuda a remover el aire interno rico en humedad desde su lugar de origen. Evitar la presencia de puntos fríos a través de un aislamiento adecuado, de calefacción y del movimiento de aire, elimina los sitios potenciales para la condensación.

Difusión de vapor

Incluso sin fugas, pequeñas cantidades de humedad en forma de vapor de agua pueden pasar directamente a través de la envolvente de una edificación mediante un proceso llamado difusión. La difusión de vapor desde un sótano húmedo o mojado, o desde el entrepiso en la superficie habitable puede aumentar significativamente los niveles de humedad dentro de una vivienda.

Dos cosas determinan la cantidad de difusión de vapor que se produce en una edificación: la fuerza impulsora que la empuja (conocida como el diferencial de presión de vapor) y la permeabilidad del material a través del cual pasa el vapor. La mayoría de los materiales (incluso láminas de vidrio) no tienen la capacidad de detener por completo la difusión de vapor; por lo tanto, llamar a algo una "barrera de vapor" no es del todo correcto ya que no lo detiene por completo. La tendencia actual en la ciencia de la construcción es referirse a estos materiales como "retardadores de vapor", lo que significa que, aunque ralentizan el movimiento del vapor de agua, no detienen totalmente el proceso. Los materiales que disminuyen significativamente el proceso de difusión de vapor se les dice que tienen baja permeabilidad, o de manera abreviada, que son de "perm baja". Los códigos de construcción habituales clasifican los retardadores de vapor como:

- **Clase I:** Retardadores de vapor impermeables — con una tasa de 0.1 perms o menos. Las láminas de polietileno (Visqueen) o el papel de aluminio sin perforaciones (FSK) son retardadores de vapor Clase I.

Incluso sin fugas, pequeñas cantidades de humedad en forma de vapor de agua pueden pasar directamente a través de la envolvente de una edificación.

- **Clase II:** Retardadores de vapor semiimpermeables — con una tasa mayor de 0.1 perms y menor o igual a 1.0 perms. El revestimiento kraft en fieltro califica como un retardador de vapor Clase II.
- **Clase III:** Retardadores de vapor semipermeables — con una tasa mayor de 1.0 perms y menor o igual a 10 perms. Las pinturas de látex o en esmalte, la madera contrachapada, los tableros de virutas orientadas (oriented strand board, OSB) califican como retardadores de vapor Clase III.

Los retardadores de vapor Clase I a menudo se aplican en el entrepiso de una edificación para evitar que la humedad de la tierra se evapore y suba hacia la vivienda. Muchos códigos de construcción requieren la aplicación de 6 mil. de polietileno, un retardador de vapor Clase I, a fin de evitar la difusión de vapor al llevar el agua a los conjuntos estructurales. En climas fríos durante la temporada de calefacción, el diferencial de presión de vapor conduce el vapor desde el interior de la edificación hacia el exterior. En Minnesota, el retardador de vapor se instala generalmente en la cara interior de los montantes de la pared. En climas más cálidos durante la temporada de refrigeración, esta unidad de vapor está desde el exterior de la edificación hacia el interior, de este modo, en zonas costeras calientes y húmedas como Miami o Houston, los retardadores de vapor a menudo se ponen en el exterior de las edificaciones. Además de la medición en perms que tenga el material, la eficacia de un retardador de vapor está también en función de su área de superficie. Un retardador de difusión de vapor que cubre 80 por ciento de una edificación se dice que es un “80 por ciento efectivo.” Generalmente se considera más importante tener una barrera completa de aire que un retardador de vapor completo, sin embargo, ambos son importantes.

Efectos del flujo de humedad en los ocupantes

El flujo de humedad puede afectar a los ocupantes de la edificación de diferentes maneras, lo cual incluye:

Salud y seguridad

A menudo la humedad no es considerada en términos de seguridad y salud para los ocupantes. Debido al potencial que tiene la acumulación de agua para producir bacterias y moho, algunos profesionales de calidad del aire interior consideran que el agua es un contaminante.¹ La humedad es el ingrediente clave para el crecimiento de moho y bacterias. Estos hongos no solo pueden ser malolientes, desagradables y causantes de que la madera se pudra, sino que también pueden ocasionar asma y reacciones alérgicas en muchas personas.

El exceso de humedad (especialmente en el aire) también proporciona un ambiente favorable para la proliferación de ácaros del polvo y cucarachas, fuentes directas de problemas de asma y alergias. Aunque las personas no reaccionan normalmente a las plagas en sí mismas (excepto tal vez gritar y alcanzarlas con una revista enrollada), los excrementos de los ácaros del polvo y de las cucarachas pueden causar asma y reacciones alérgicas en muchas personas. Otro efecto secundario desafortunado de la presencia de estas plagas es que a menudo propician un mayor uso de insecticidas. Los niños pequeños en particular pueden ser muy susceptibles a los venenos y pueden sufrir efectos como reacciones alérgicas.

Los profesionales de la calidad de aire interior consideran la humedad como un contaminante.

¹ https://www.energystar.gov/ia/partners/bldrs_lenders_raters/downloads/ENERGY_STAR_V3_Building_Science.pdf

Comodidad

Así como la humedad en forma de vapor de agua juega un papel clave en la manera cómo percibimos la comodidad, la humedad relativa es la principal fuerza impulsora para determinar cómo funcionan los sistemas de construcción. De acuerdo con [ASHRAE](#)², la zona de comodidad para las edificaciones en el invierno está entre 20° y 24° C con una humedad relativa que se ubica entre 30 y 60 por ciento. Durante las condiciones de verano, el rango de comodidad se encuentra entre 22° y 76° C con una humedad relativa que va desde 25 hasta 60 por ciento. Cabe destacar que los rangos para la comodidad y la calidad del aire interior no siempre se corresponden (por ejemplo, el 60 por ciento de humedad relativa en un clima frío es propicio para la creación del moho y la putrefacción en las edificaciones con niveles estándares de sellado de aire y aislamiento).

Efectos del flujo de humedad en la durabilidad de la edificación

La humedad puede ser una causa común de la degradación de la edificación. De hecho, gran parte de lo que hoy conocemos sobre la ciencia de la construcción aplicada tiene su origen en el trabajo temprano que ha investigado el impacto de la humedad en las edificaciones. Aunque la gravedad de los problemas de humedad varía, en gran medida, dependiendo del clima, pocas regiones de América del Norte están libres de preocupaciones acerca de la humedad en las edificaciones.

La humedad puede afectar la durabilidad de una edificación en muchos frentes, desde los entrepisos mojados hasta los tejados con goteras. El aire rico en humedad puede incluso quedar atrapado en los conjuntos estructurales de la edificación, provocando posiblemente el crecimiento de moho, la putrefacción o la infestación por insectos. En la lucha contra estos diversos problemas de humedad han surgido industrias enteras que se especializan en este tipo de problemas.³

Flujo de calor

En una vivienda típica, una gran parte de toda la energía que se consume proviene de la calefacción y de la refrigeración. Las fugas de aire y muy poco aislamiento o un aislamiento instalado de manera incorrecta explica, en gran parte, este excesivo uso de energía. Un buen límite termal, que incluye aislamiento, ventanas y puertas, no solo reduce el derroche de energía, sino que también aumenta la comodidad de los ocupantes. Es importante reconocer el rol del puente térmico en el flujo de calor. El puente térmico se refiere al calor perdido a través del armazón de una edificación. Existen diversas estrategias de mitigación para hacer frente a esta forma de pérdida de calor que van más allá del alcance de este resumen, pero una cosa que se debe recordar es que, a pesar de lo que dicen, la elección del tipo de aislamiento usado en la pared no afecta al puente térmico.⁴

Fundamentos del flujo de calor

- **Conducción:** Cuando dos superficies están en contacto directo a diferentes temperaturas, el calor fluirá desde los materiales más cálidos hasta los materiales más frescos hasta alcanzar un equilibrio. La tasa a la que se produce esta transferencia de calor depende de la diferencia de temperatura entre las dos superficies y de la resistencia térmica (Valor-R) del material.
- **Convección:** El aire caliente se eleva naturalmente dentro de un espacio y el aire frío cae. Estos movimientos del aire caliente y del aire frío se conocen

² https://www.ashrae.org/file%20library/doclib/public/2003691613_347.pdf

³ Energy Star Certified Home Building Science Introduction (Introducción a la ciencia de la construcción certificada por Energy Star) <https://basc.pnnl.gov/resources/energy-star-qualified-homes-building-science-introduction>

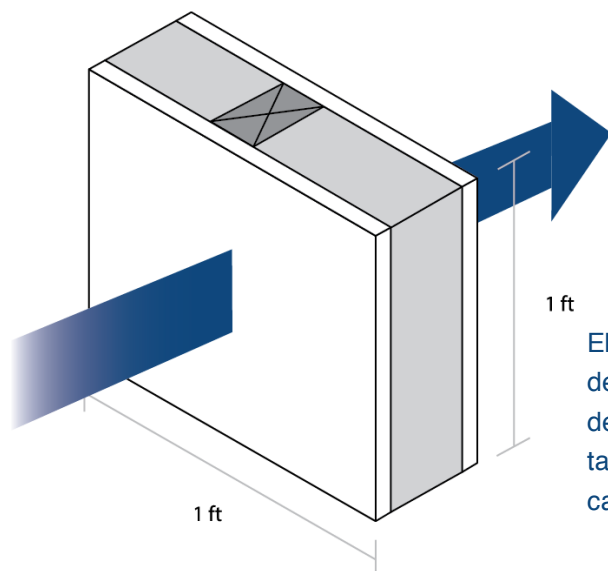
⁴ Building Science Corporation Thermal Metric Report (Informe de parámetros térmicos de Building Science Corporation)

como corrientes de convección, que se mueven a veces en círculos llamados bucles convectivos.

- **Radiación:** Todos los objetos irradian calor, el cual puede viajar a través de un espacio abierto y ser absorbido por objetos más frescos. El ejemplo más común de esto es el Sol, que emite rayos de luz a través del espacio para calentar la Tierra.

Factor-U

La rapidez con la que el calor fluye a través de un material se denomina Factor-U del material o conductancia de calor.



El Factor-U es la velocidad de flujo de calor a través de 1 pie cuadrado de material; se usa para medir qué tan bien un producto mantiene el calor de fuga de una edificación.

Técnicamente, el Factor-U es el número de BTU por hora del flujo de calor por cada grado de diferencia de temperatura de un lado del material al otro. El Factor-U es lo inverso del Valor-R con unidades estadounidenses de BTU/(h °F ft²) y unidades SI de W/(m²K):

$$U = \frac{1}{R} = \frac{\dot{Q}_A}{\Delta T} = \frac{k}{L}$$

Valor-R

La capacidad que tiene un material para resistir el flujo de calor se mide en Valor-R. El Valor-R es lo opuesto al Factor-U ($R=1/U$). Cuanto mayor sea el Valor-R, más lento será el flujo de calor a través del material. La medida del Valor-R incluyen los efectos de la conducción, la convección y la radiación.

Aislamiento

El aislamiento disminuye la transferencia de calor mediante la captura de las bolsas de aire. Los productos de aislamiento modernos hacen un excelente trabajo previniendo que el calor pase a través de las paredes, los techos y los pisos de una edificación. De acuerdo con el [Informe de Parámetros Térmicos de la Building Science Corporation](#),⁵ todos los tipos de aislamiento realizan esencialmente lo mismo en la medida en que tengan un sellado del aire adecuado y estén instalados correctamente. Sin embargo, una instalación de aislamiento realizada de forma incorrecta reduce considerablemente su eficacia.

La instalación incorrecta del aislamiento puede reducir su eficacia.

⁵ [Building Science Corporation Thermal Metric Report \(Informe de parámetros térmicos de Building Science Corporation\)](#).

Efectos del flujo de calor en los ocupantes

El flujo de calor puede afectar a los ocupantes de la edificación de diferentes maneras, las cuales incluyen:

Salud y seguridad

Como se mencionó anteriormente, el crecimiento de hongos y de moho puede ocurrir cuando el aire cargado de humedad entra en contacto con superficies frías. El flujo de calor adecuado dentro de una edificación ayuda a prevenir estos puntos de frío localizados. Sin embargo, durante los meses de verano, unas rejillas de refrigeración mal diseñadas, una red de conductos con fugas o un sistema de gran tamaño, pueden generar la formación de condensación. El moho puede crecer también en el invierno cuando el aire caliente y húmedo se condensa en las superficies frías, formando agua. Unas ventanas mal diseñadas pueden ser un ejemplo de esto.

Comodidad

La comodidad se define en el [Manual de Fundamentos de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros en Calentamiento, Refrigeración y Aire Acondicionado \(American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE\)](#) como, “esa condición mental en la que se expresa satisfacción con el ambiente térmico existente”.

A la mayoría de la gente le gustaría tener el máximo nivel de comodidad posible al menor costo. Esto se logra a través del aislamiento y del sellado del aire apropiados en las edificaciones.

Efectos del flujo de calor en la durabilidad de la edificación

El vapor de agua intenta moverse de una zona caliente y seca a zonas frías y húmedas, donde se pueda condensar más fácilmente. Cuando se produce esta condensación dentro de las paredes y otros conjuntos estructurales, puede ocurrir la descomposición de la madera, así como el crecimiento de moho. El flujo de calor no deseado en las edificaciones, incluso cuando es causado por la radiación solar u otros escenarios normales de calefacción/refrigeración, puede llevar el aire rico en humedad a los conjuntos estructurales ya sea adentro o afuera de la edificación.

Cuando las barreras térmicas no están instaladas correctamente, o el aire puede pasar a través del aislamiento, la pérdida o la ganancia de calor resultante puede reducir la eficiencia energética. Esta pérdida o ganancia de calor se produce generalmente en cinco situaciones distintas:

- Vacíos dentro del aislamiento
- Separaciones entre el aislamiento y los miembros del armazón adyacente
- Convección del flujo de aire en los conjuntos aislados incorrectamente
- Fuga de aire que impide el límite térmico
- Aislamiento altamente comprimido

Flujo de aire

En términos simples, el aire necesita de una abertura o agujero por donde fluir y de una fuerza impulsora para moverlo. La fuerza impulsora que mueve el aire es una diferencia de presión. Muchos factores diferentes controlan la forma cómo el flujo de aire afecta una vivienda. Las fuerzas y las condiciones que permiten que el aire fluya adentro, afuera o en una vivienda incluyen:

Para que el aire fluya hacia adentro o hacia afuera de un recinto de construcción, debe haber un agujero o vía de acceso para que el aire fluya y debe existir también una fuerza impulsora.

- Flujo de aire controlado versus flujo no controlado
- Agujeros y vías
- Presión de aire
- Efectos del flujo de aire

Para que el aire fluya hacia adentro, hacia afuera o en una edificación, deben cumplirse dos requisitos: debe haber un agujero o vía para que el aire fluya y debe existir una fuerza impulsora.

Los flujos de aire en las edificaciones son controlados o no controlados. En cualquier caso, el flujo real de aire se determina por varios factores, lo que incluye el tamaño del agujero, la resistencia al flujo y los efectos de la presión.

Flujo de aire controlado versus flujo de aire no controlado

El flujo de aire controlado generalmente se genera mediante un dispositivo mecánico y está diseñado para ayudar a ventilar una edificación y/o distribuir el aire acondicionado a lo largo de una edificación. Las fuentes habituales de flujo de aire controlado son: sistemas de ventilación, ventiladores portátiles, aire de reposición, calefacción y flujo del sistema de aire acondicionado.

El flujo de aire no controlado es cualquier movimiento de aire hacia adentro, hacia afuera o en una edificación que no ha sido diseñado. Esto puede ser causado por el viento, la fuerza de levantamiento del aire caliente dentro de la edificación o el mal funcionamiento de los ventiladores. Las fugas en el sistema de distribución de aire de una edificación son también un flujo de aire no controlado.

Agujeros y vías

Para tener un flujo de aire no controlado (infiltración) en una edificación deben haber agujeros en la envolvente de la edificación. Al reducir el número de agujeros no deseados en la edificación, se reducirá la cantidad de flujo de aire no controlado. Hay dos tipos de agujeros en las edificaciones: los no deseados y los diseñados.

Los agujeros no deseados permiten fugas de aire no controlado y disminuyen la eficiencia y la posibilidad de un medio ambiente saludable en una vivienda. Los orificios no deseados en una vivienda se encuentran en el ático, las paredes y los pisos. Cualesquiera de estos agujeros que se conectan con espacios sin acondicionar (*por ejemplo*, áreas externas, garaje, espacios huecos...) debe ser bloqueados, calafateados, estancados o de alguna forma sellados. A veces estos agujeros se conectan con cavidades del piso, de la pared o del techo o con espacios debajo de las bañeras y de las escaleras; o se ubican alrededor de chimeneas, arriba de armarios, etc. Estos espacios se convierten en vías para que el aire se mueva entre el interior y el exterior de la edificación. Por ejemplo, el aire puede escaparse en el espacio que hay entre el techo del primer piso y el suelo del segundo piso si la junta de la banda no está sellada. Ese aire, y cualquier humedad incluida en él, puede entonces fluir libremente a través de luminarias empotradas mal selladas, techos falsos sobre armarios, etc., y causar graves problemas de humedad y comodidad. Los agujeros no deseados deben ser sellados y bloqueados para controlar la propagación potencial de corrientes de aire, humo y fuego.

Los agujeros diseñados son aquellos necesarios para permitir el flujo adecuado de aire fresco, como respiraderos y chimeneas. Los agujeros diseñados incluyen cualquier

El flujo de aire siempre busca el camino de menor resistencia.

agujero o sistema que esté diseñado para hacer que el aire que pasa a través de él vaya en una dirección específica. Los agujeros diseñados no deben ser bloqueados, sellados ni restringidos ni tener invertida su dirección de flujo. Algunos ejemplos de estos agujeros son: ductos de humo y respiraderos de combustión, chimeneas, ventiladores de reposición de aire, ventiladores de escape, ventiladores de secado, campanas de cocina, sistemas de ventilación, aspiradoras centrales, ventanas y puertas y entradas/salidas de aire fresco. Al examinar el flujo de aire adentro y afuera de una edificación, la ciencia de la construcción aplicada aborda tres áreas de interés: los efectos en los ocupantes, los efectos en la durabilidad e integridad estructural de la edificación y los efectos en la eficiencia energética de la edificación.

Presión de aire

El aire siempre fluye desde una zona de alta presión a una de baja presión, como el agua que corre cuesta abajo. Por lo tanto, si no hay una barrera eficaz, el aire que está afuera de la vivienda, y que tiene mayor presión, tratará de entrar en la casa. Asimismo, el aire interno, a una presión mayor en relación con la exterior, tiende a salir de la casa.

La naturaleza del flujo de aire siempre busca el camino de menor resistencia; con los agujeros de menor resistencia se obtiene mayor flujo de aire. En general, por cada volumen de aire que entra en una casa, un volumen igual de aire debe también salir de la edificación y viceversa. De manera que un pie cúbico adentro equivale a un pie cúbico afuera.

Ambas zonas de presión, positiva y negativa, pueden existir en la misma edificación al mismo tiempo, con una zona de presión neutral entre ellas. Esta área entre las dos zonas de presión se conoce como plano de presión neutral. En el plano neutral el aire no se mueve ni adentro ni afuera de la casa; en la parte inferior de la presión negativa del plano, el aire se va introduciendo en la vivienda y en el lado de la presión positiva, el aire es forzado a salir. Puesto que el aire no se mueve en el plano de presión neutral⁶, la mayor cantidad de infiltración o exfiltración de aire ocurre en aquellos puntos de la casa más lejanos del plano.

Medición de la presión

Una forma para medir presiones muy pequeñas es en unidades llamadas pascales. Para establecer un marco de referencia, en una pieza estándar de papel que cae sobre un escritorio hay un pascal de presión. Puesto que un pascal es una cantidad muy pequeña de presión, se requiere un manómetro preciso para su medición. Estas diferencias de presión se miden generalmente a través de límites y barreras. Por ejemplo, medir la diferencia de presión a través de una pared exterior de la edificación determina la presión que hay dentro de la casa con referencia a la presión del aire exterior. Comúnmente la presión se mide para tener la seguridad de que los dispositivos de combustión están funcionando correctamente. Las pruebas de soplador en las puertas miden el hermetismo de una edificación, y las mediciones de presión son esenciales para esa tarea.

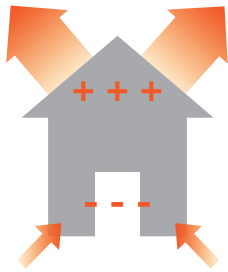
Causas de la presión de aire

Las diferencias de presión en todos los agujeros, los límites y las barreras dentro de una edificación son causadas por una de estas tres fuerzas: el viento, el calor o los ventiladores.

⁶ <https://basc.pnnl.gov/information/building-science-introduction-air-flow>



El viento que sopla contra una edificación puede causar grandes diferencias de presión entre un lado de la edificación y el otro, dependiendo de su velocidad y de su dirección. En el lado de barlovento de una edificación, el viento produce una presión positiva en su exterior en relación con el interior, provocando la entrada de aire a la edificación. En el lado de sotavento de una edificación, el aire externo tiene una presión más baja que el aire que está dentro de la edificación, y el aire sale de allí a través de los agujeros y de otros sitios de fuga.



La presión de calor se causa al hacerse flotante el aire caliente, logrando que llegue naturalmente a la cima de una edificación. Esto se denomina presión de apilamiento o efecto de apilamiento. La magnitud de esta presión depende de la diferencia de temperatura que hay entre el interior y el exterior de la edificación, así como de su altura. Si la altura de la edificación o la diferencia de temperatura se duplica, entonces la presión de apilamiento se duplica también. Por lo general, las regiones superiores dentro de una edificación están a una presión positiva en relación con la exterior, y las regiones inferiores están a una presión negativa en relación con la exterior.

Los ventiladores (particularmente los ventiladores de escape y las unidades interiores de HVAC) pueden contribuir a los cambios de presiones de varias maneras diferentes. Las fugas en el conducto o en la envolvente de la edificación, o un desequilibrio en los conductos de suministro y de retorno, pueden causar que estos ventiladores tengan un efecto drástico. Mientras que las fuerzas naturales (viento y apilamiento) producen entre uno y 10 pascales de presión en las edificaciones residenciales, los ventiladores pueden producir una presión tan alta como de 60 pascales. Y cuanto más hermética esté la vivienda, mayor será la diferencia de presión que pueden producir estos tres efectos. Hay varios tipos de ventiladores en un sistema doméstico y cada uno plantea diferentes retos si no está diseñado adecuadamente.

Los extractores de aire (extractores en baños, cocinas y lavanderías, campanas de cocina, secadoras y sistemas de vacío central, que extraen aire de las áreas de la casa y lo sustituyen por aire aspirado desde el exterior) pueden competir por el aire con chimeneas, calentadores de agua alimentados a gas, hornos, calderas y otros dispositivos de combustión dentro de una edificación. En casos graves, los aparatos de combustión con ventilación natural pueden experimentar "corrientes de retroceso", donde los productos de las combustiones son halados hacia adentro de la casa, aumentando la posibilidad de intoxicación de los ocupantes por monóxido de carbono; con un mayor uso de extractores comerciales de mayor flujo aumenta la posibilidad de que esto ocurra.

Los ventiladores de los sistemas HVAC pueden exacerbar los efectos producidos por los conductos con fugas. Los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC) que permiten la fuga de aire pueden producir diferencias de presión a través de la envolvente de las edificaciones. Hay dos tipos de fugas en el sistema de conductos: fuga del conducto hacia el exterior y fuga del conducto hacia el interior de la edificación. Ambos tipos pueden tener consecuencias graves.

- Las fugas hacia el exterior de la edificación provenientes de las fuentes de suministro o de retorno del sistema pueden causar que las tasas de infiltración aumenten tanto como un 300 por ciento. Como se mencionó anteriormente,

Para obtener más información sobre el efecto de la filtración de ductos en las edificaciones, véase, “The Sucking and the Blowing—A Lesson in Duct Leakage” (La aspiración y el soplado: una lección en la fuga de conductos).

—
www.energyfanguard.com/blog/building-science-HERS-BPI/bid/76157/The-Sucking-and-the-Blowing-A-Lesson-in-Duct-Leakage

cada pie cúbico de aire perdido a través de las fugas del conducto hacia afuera debe ser reemplazado. Las pérdidas de aire en los conductos deben ser reemplazadas por corrientes de aire exterior a través de fugas en el casco de la edificación. Desafortunadamente, la mayoría de las fugas en los conductos ocurren cuando el clima está en su peor momento: durante los picos de verano e invierno cuando la eficiencia energética y la comodidad están en su mayor demanda. La fuga en el conducto de suministro hacia el exterior puede causar una presión negativa en el interior de la vivienda, lo cual trae aire sin acondicionar (caliente o frío) hacia el interior de la vivienda. Por el contrario, la fuga en el lado de retorno, puede causar una diferencia de presión positiva en la edificación en relación con la del exterior. En promedio, una fuga como esta puede causar un aumento de entre 10 y 20 por ciento en los consumos energéticos por calefacción y refrigeración, junto con una disminución de entre 20 y 50 por ciento en la eficiencia de los equipos de calefacción y refrigeración.

- Las fugas al interior de una edificación no causan grandes aumentos en el consumo de energía ni disminución en la eficiencia del equipo. La fuga en el suministro hacia una parte del interior de una edificación, como los conductos situados entre suelos, paredes, armarios y sótanos, pueden presurizar un área pequeña y localizada, haciendo que el resto de la edificación se despresurice. Del mismo modo, la fuga del retorno puede despresurizar el área donde se encuentra, haciendo que el resto de la edificación se presurice. La fuga del conducto hacia el interior de una edificación es más una fuente de comodidad, salud y seguridad que una causa de infiltración. Si los conductos de suministro no envían aire acondicionado al área prevista, los ocupantes pueden ajustar el termostato a una posición de más calor o de más frío de lo que podría necesitarse, lo cual derrocha energía. Sin embargo, se ha encontrado que las fugas en el retorno donde están situados los aparatos de combustión (sótanos, salas de equipos y armarios) causan derrames de escape del calentador de agua, corrientes de retroceso, producción de monóxido de carbono y despliegue de llamas provocando incendios. No se puede subestimar la importancia de este hecho.

Presión de aire causada por un desequilibrio en el flujo de aire

Un desequilibrio del flujo de aire a través de paredes interiores o exteriores, techos y suelos, también puede causar diferencias de presión. Un flujo de aire desequilibrado puede ocurrir si los flujos de aire de retorno y de suministro en un área no son iguales o si las puertas internas que están cerradas bloquean las vías de suministro y retorno.

A menudo, el flujo desequilibrado se produce cuando una habitación tiene más suministro de aire del que es eliminado por el retorno, haciendo que la habitación se presurice. Esto puede ocasionar fugas de aire hacia el exterior a través de las paredes de la habitación o en un recorrido hacia el ático o el entrepiso. Del mismo modo, si el flujo de retorno de una habitación es más grande que el flujo de suministro, la habitación puede despresurizarse, aspirando el aire del exterior. Esto puede ocurrir, por ejemplo, cuando las puertas internas están cerradas en edificaciones que tienen sistemas de retorno central. Este diseño de los sistemas HVAC envía aire a cada habitación, pero no tiene un retorno de ventilación en cada habitación. Cuando una puerta se cierra, se convierte en una barrera entre el retorno, ubicado en el cuerpo

Un desequilibrio del flujo de aire a través de paredes interiores o exteriores, techos y suelos, también puede causar diferencias de presión.

principal de la vivienda, y el suministro de aire a la habitación cerrada. El retorno intenta aspirar este aire faltante del resto de la vivienda, despresurizando el cuerpo principal de la casa y posiblemente causando problemas de retroceso con chimeneas, estufas a leña u otro artefacto de combustión.

Además, sin retornos locales, las habitaciones cerradas pueden ser presurizadas, al conducir aire interior caliente y húmedo en paredes y techos, lo cual posiblemente lleve a la proliferación de moho e incluso a la putrefacción en los conjuntos estructurales.

En ambos casos, la magnitud de estas diferencias de presión depende de la estrechez de las habitaciones en relación con el cuerpo principal de la casa y el exterior, así como de la cantidad de aire suministrado a cada habitación. Una práctica común, aunque no sea ideal, para permitir que el aire regrese al retorno central, es recortar las puertas de las habitaciones para que el aire de retorno pueda pasar por debajo de ellas.

Efectos del flujo de aire en los ocupantes

Un flujo de aire inadecuado puede tener efectos graves sobre la salud y la seguridad de las personas en la edificación al promover el crecimiento de moho, la difusión de contaminantes y posiblemente crear corrientes de retroceso de los aparatos de combustión, lo que causaría un posible envenenamiento por dióxido de carbono.

Combustión

La presión negativa puede provocar corrientes de retroceso y derrames prolongados provenientes de chimeneas, calentadores de agua alimentadas a gas, hornos, calderas o cualquier otro dispositivo que utilice el aire de la casa para la combustión. También puede causar el despliegue de la llama de la parte inferior de calentadores de agua residenciales y la producción de más monóxido de carbono en hornos y calentadores de agua por combustión.

Durante los meses de verano, las presiones negativas en el interior de la casa pueden aspirar aire húmedo y caliente del exterior. Cuando este aire húmedo entra en contacto con las superficies que están por debajo de la temperatura de punto de condensación, puede formarse la condensación, proporcionando un excelente caldo de cultivo para hongos y moho, los cuales son irritantes respiratorios conocidos. Lo mismo es cierto durante el invierno si la vivienda está presurizada, conduciendo aire cargado de humedad hacia afuera de la edificación y sus paredes, pisos y montajes de techo.

Contaminantes

El aire en una vivienda a menudo contiene muchos contaminantes, como el humo, el polen, los ácaros del polvo, la caspa de animales, el radón y los vapores de productos de limpieza. Las partículas contaminantes y los compuestos orgánicos volátiles (COV) pueden desplazarse de una zona de la casa a otra mediante el flujo de aire no deseado. Los gases de suelo (como el radón) pueden generarse desde el sótano o desde los entresijos hacia la edificación debido a presiones negativas. Las chimeneas y los aparatos de combustión pueden crear corrientes de retroceso causando que los gases de monóxido de carbono entren en la vivienda.

Comodidad

El movimiento real de aire dentro de una edificación a menudo puede afectar la comodidad de los ocupantes. Durante el invierno, el movimiento de corrientes de

Un flujo de aire inadecuado puede tener efectos graves en la salud y en la seguridad de las personas dentro de la edificación.

aire más frescas a menudo se percibe como "corrientes" no deseadas. Sin embargo, durante el verano, el movimiento del aire sobre la piel expuesta aumenta la evaporación, haciendo que los ocupantes se sientan más frescos y secos. Este movimiento de aire puede ser causado por la corriente de convección o por medios mecánicos.

Corrientes de convección

El aire natural se eleva al calentarse y se cae cuando está fresco; estos movimientos se conocen como corrientes de convección. Estas corrientes pueden ocurrir cuando el aire en una edificación se calienta o se enfría de manera incontrolada debido a superficies con un aislamiento no adecuado (es decir, paredes con aislamiento mal instalado y ventanas de un solo panel). El resultado es a menudo que los ocupantes sientan corrientes de aire y estén incómodos. Todos los edificios tienen corrientes de convección hasta cierto punto, por lo que el objetivo es evitar las corrientes de convección excesivas si la edificación no está aislada adecuadamente.

Las corrientes de convección también pueden producirse en las cavidades que se encuentran en la edificación. Algunos ejemplos de esta situación son:

- Una cavidad parcialmente o incorrectamente aislada está hermética en el interior de la edificación, pero con fugas al exterior. Esto permite que el aire que está dentro de la cavidad sea calentado o enfriado a través de su contacto con el exterior, provocando, posiblemente, las corrientes de convección.
- Una cavidad es hermética al interior y al exterior de la edificación, pero existen separaciones entre el aislamiento y las superficies externas de la cavidad que permiten que circulen corrientes de convección.
- Una cavidad fuga tanto para el interior como para el exterior de la edificación y el aire es calentado en la cavidad. Esto permite que el aire se escape por la cavidad en cualquier dirección donde esté caliente; entonces puede desarrollar corrientes de convección.

Este peor escenario permite la fuga directa de aire del exterior al interior y viceversa.

Fuerzas mecánicas

El aire forzado de los equipos de calefacción y enfriamiento está diseñado para mover cantidades específicas de aire acondicionado a lo largo de una edificación. Si el aire se mueve demasiado rápido puede tener un efecto notable de enfriamiento sobre los ocupantes. Esto es causa de malestar durante los meses de invierno, trayendo quejas de "corrientes" de aire, pero puede aumentar la comodidad de los ocupantes durante el verano. El diseño apropiado de los equipos y conductos de los sistemas HVAC y la orientación correcta de los registros del conducto, pueden ayudar a reducir este efecto.

Efectos del flujo de aire en la durabilidad de la edificación

Un flujo de aire inadecuado puede mover aire húmedo del exterior o forzar que el aire húmedo del interior salga de las paredes, los techos y otros conjuntos estructurales. En cualquier caso, esta humedad transportada por el aire puede causar efectos graves en la durabilidad de una edificación.

La condensación se produce cuando el vapor de agua en el aire cambia a estado líquido. Sea en los alféizares internos de las ventanas o en los conjuntos estructurales ocultos, una vez que la madera absorbe 30 por ciento de su peso en agua puede

El flujo de aire no deseado puede reducir la eficiencia energética de una edificación aunque esté sellada herméticamente al exterior.

comenzar a pudrirse⁷. El enfoque más eficaz para reducir la humedad transportada por el aire es sellar firmemente la edificación contra el aire de infiltración o de exfiltración. Esto mantiene fuera el aire húmedo del exterior y permite que la ventilación de la edificación y el sistema de aire acondicionado eliminen el exceso de humedad en el aire del interior de la edificación.

Efectos del flujo de aire en la eficiencia energética

El flujo de aire no deseado puede reducir la eficiencia energética de una edificación aunque esté sellada herméticamente al exterior. Los siguientes ejemplos demuestran este efecto tanto para el flujo de aire que aumenta la tasa de cambio de aire de una edificación como para el flujo de aire que no.

Flujo de aire que aumenta las tasas de cambio de aire de la edificación

Cuando la calefacción y el equipo de enfriamiento son dimensionados inicialmente, los cálculos de la carga de calor suponen alguna tasa de infiltración (flujo de aire no controlado). Una mayor tasa de infiltración significa menor eficiencia energética general para la edificación. Las tasas de infiltración y las consiguientes pérdidas de eficiencia pueden afectar tanto el movimiento del aire natural como el mecánico.

El movimiento natural incluye las fuerzas de viento y apilamiento que causan una cierta cantidad de infiltración de aire en la mayoría de los edificios. En edificios más viejos, una cantidad de aire igual al volumen total de la casa puede entrar y salir cada hora. Esto se denomina cambio de aire por hora (air change per hour, ACH). Algunas viviendas de reciente construcción pueden tener solamente un 0.25 ACH o menos. El efecto tanto del viento como del apilamiento puede reducirse mediante el sellado apropiado de todos los agujeros no deseados en la envolvente de la edificación.

El movimiento mecánico de los ventiladores de los sistemas HVAC y otras fuerzas impulsadas mecánicamente pueden tener un efecto mucho mayor en la tasa de cambio de aire de una edificación que las fuerzas naturales. Las investigaciones han encontrado que la fuga del conducto y el desequilibrio pueden aumentar las tasas de infiltración tanto como 300 por ciento. La infiltración mecánica también puede causar que el aire pase más allá del límite térmico de la edificación. La infiltración de aire no controlado causada por sistemas mecánicos puede ser controlada sellando cualquier agujero en los sistemas de distribución de aire y equilibrando correctamente el flujo de aire y la presión en toda la edificación.

Flujo de aire que no aumenta las tasas de cambio de aire de la edificación

Las corrientes de convección dentro de algunas cavidades son un ejemplo del flujo de aire que puede reducir la eficiencia general de la energía de un sistema de construcción, aunque no aumenta la infiltración o las tasas de cambio de aire.

Incluso las cavidades que son herméticas con respecto al exterior pueden afectar la eficiencia energética de una edificación. Estos espacios normalmente condicionados (como armarios de pasillo) si están abiertos al interior de la casa, pero no reciben aire de los sistemas HVAC, se convierten en una fuente potencial de calor (o enfriamiento). Por ejemplo, si las paredes interiores o un techo falso están abiertos hacia el espacio del ático, entonces el aire dentro de estos espacios se calienta y se levantará para llenar así el ático. Esto amplía el volumen de espacio acondicionado de la edificación para incluir

⁷ https://www.energystar.gov/ia/partners/bldrs_lenders_raters/downloads/ENERGY_STAR_V3_Building_Science.pdf

Las corrientes de convección dentro de algunas cavidades son un ejemplo del flujo de aire que puede reducir la eficiencia general de la energía de un sistema de construcción, aun cuando no aumenta la infiltración o las tasas de cambio de aire.

el área del ático, aumentando las demandas de energía de la edificación y posiblemente reduciendo los niveles de comodidad. Los equipos HVAC deben entonces trabajar más tiempo o usar más energía para calentar o enfriar un espacio que nadie ocupa. En esta situación, la edificación puede hacerse hermética de acuerdo con una prueba de soplador de la puerta, pero todavía tiene un alto consumo de energía. La solución obvia para este tipo de problemas es asegurarse de que todas las vías posibles de aire estén selladas herméticamente tanto en el interior de la edificación como en el exterior.

Puente térmico

El aire acondicionado que puede pasar a través o alrededor del aislamiento en un área sin acondicionar disminuye la eficiencia energética de una edificación. Esta pérdida de eficiencia se conoce como puente térmico. Para evitar este tipo de pérdida, las edificaciones deben estar herméticamente selladas y todo el aislamiento instalado debe estar en contacto sustancial con la barrera de aire adyacente sin permitir espacios de aire accidentales.

Resumen

Garantizar viviendas duraderas, con eficiencia energética, seguras y cómodas, es más fácil de lograr con un dominio básico de los elementos clave de la ciencia de la construcción, tales como: que la casa es un sistema, que las casas deben ser construidas utilizando técnicas adecuadas para la ubicación y el clima y que todas las estructuras deben incorporar métodos para controlar el flujo de calor, de aire y de humedad.

Acerca de Insulation Institute

Insulation Institute™ aprovecha la experiencia de aislamiento colectivo de nuestra organización y de nuestros miembros para ayudar a propietarios y profesionales a tomar decisiones informadas sobre el aislamiento. Nuestra misión es permitir un futuro más cómodo y el uso de la energía de forma eficiente y sostenible a través del aislamiento, y estamos constantemente trabajando con profesionales, propietarios, agencias gubernamentales e interés público y grupos de energía y ambiente para hacer realidad esta visión.

Acerca de Energy Vanguard

La misión de Energy Vanguard es hacer viviendas de alto rendimiento. Nuestros clientes son propietarios, constructores, contratistas, calificadoros de energía en el hogar, analistas estructurales, fabricantes, organismos gubernamentales y el Instituto de Alto Rendimiento de Construcción (Building Performance Institute, BPI). Nos enfocamos en capacitación, consultoría y diseño y somos proveedor acreditado de calificación de energía en el hogar ([HERS](#)) RESNET y centro de prueba de BPI.