

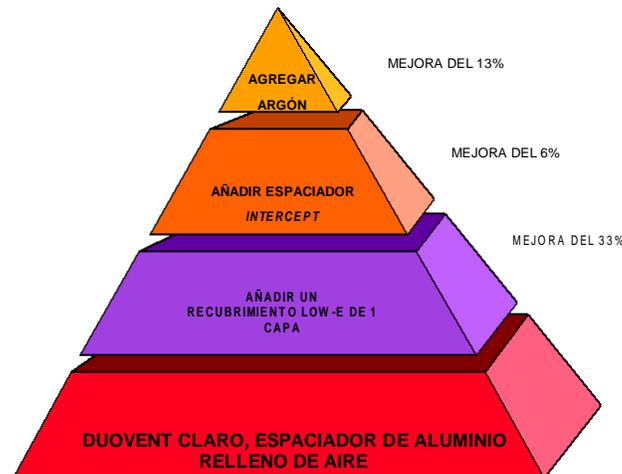
Argonomía

El nombre del juego en los sistemas de ventanas actuales es el desempeño. Cuando ve en retrospectiva de 10 a 15 años y sinusladaue la evolución de las ventanas energéticamente eficientes, las mejoras son impresionantes. Los valores R en general de las unidades de vidrio aislante de doble panel han mejorado de menos de 2 a 4 o más en un período de tiempo relativamente corto. Una de las principales razones de este aumento de desempeño son los avances realizados en el procesamiento de unidades de vidrio aislante, que dan como resultado valores R cada vez mayores o valores U en consecuencia decrecientes. Los contribuyentes importantes a esta mejora provienen de:

- Recubrimientos de baja emisividad
- Rellenos de gas argón
- Diseño de borde cálido (*warm-edge*)

Se estima que aproximadamente el 30% de las unidades de vidrio aislante incluyen algún tipo de vidrio recubierto de baja emisividad; aproximadamente el 30% usa relleno de gas argón; y más del 35% incorporan algún tipo de diseño de borde cálido. La sinusladauiente pirámide de desempeño ilustra la mejora resultante de estos tres factores.

FINSULADAURA 1



DESEMPEÑO GLOBAL DE LA VENTANA

Argonomía

De estas tres mejoras de desempeño, la menos comprendida y quizás la más controvertida es el uso de argón (u otro gas de baja conducción térmica) en el "espacio de aire". Sin embargo, lo que no se puede discutir es la importancia de una mejora del desempeño del 13%. Como demuestra la TABLA 1, la mejora del valor U obtenida con el uso de argón es dos o tres veces mayor que la que se obtiene al pasar de un recubrimiento MSVD low-E de una sola capa (emisividad típica de aproximadamente 0,10) a una baja emisividad de recubrimiento MSVD de doble capa (emisividad típica de aproximadamente 0,05).

TABLA 1
CAMBIOS EN EL VALOR U
RECUBRIMIENTO DE BAJA E VS. LLENADO DE ARGÓN

Unidad de vidrio aislante con diseño de borde cálido
Vidrio de 3 mm + Espacio de aire de 12 mm + Vidrio recubierto de baja
emisividad de 3 mm
Para centro de vidrio (COG) y para ventana de madera típica

CONFINSULADAURACIÓN DE LA UNIDAD INSULADA	Valor de U		Valor de U	
	COG	ΔU COG	Ventana	ΔU Ventana
Emisividad del recubrimiento = 0,10 - llenado de aire normal	0,32		0,37	
Emisividad del recubrimiento = 0,05 - llenado de aire normal	0,30	0,02	0,36	0,01
Emisividad del recubrimiento = 0,10 - relleno de argón	0,27		0,34	
Emisividad del recubrimiento = 0,05 - relleno de argón	0,24	0,03	0,32	0,02
ΔU Debido al llenado de gas argón	0,05	0,06	0,03	0,04

Si comparamos el efecto de sustituir un recubrimiento de baja emisividad con una emisividad de 0,05 por uno con una emisividad de 0,10, vemos que el valor U del centro de vidrio (valor U COG) mejora de 0,32 a 0,30 o un ΔU COG de 0,02, lo que representa una mejora de aproximadamente un 6%. Para la ventana total (ΔU Ventana U), la mejora es de 0.01 o aproximadamente 3%. Sin embargo, si agregamos argón a la unidad con el recubrimiento de emisividad 0.10, ΔU COG mejora de 0.32 a 0.27 o en 0.05, aproximadamente 15% y ΔU de la ventana mejora de 0,37 a 0,34 o 0,03, aproximadamente un 8%. **La conclusión es que la mejora en el valor U de ventana total debido al relleno de argón es más del doble que el de reducir la emisividad del recubrimiento de baja emisividad de 0,10 a 0,05.**

Argonomía

Por qué funciona el argón

La razón por la que el argón mejora el valor R de una unidad de vidrio aislante es sencilla: Es un conductor de calor más pobre que el aire normal. O, en otras palabras, es un mejor aislante que el aire. Eso es realmente todo lo que hay que hacer: no es una "ciencia espacial" y es un hecho confirmado por numerosas pruebas. Para una discusión más completa del desempeño de varios rellenos de gas, es posible que desee revisar el TD-101 de Vitro (anteriormente PPG Industries): "Efectos de la convección del espacio de gas en los valores U en unidades de vidrio aislante" y TD-121: "Valores U del centro de vidrio para unidades de vidrio aislante de doble y triple acristalamiento con vidrio Solarban® 60 Low-e con 100% de aire, argón o criptón o mezclas de estos gases".

Hay mejores resultados que el argón, como muestra la TABLA 2 a continuación; sin embargo, los beneficios del argón lo convierten en una buena elección. El argón es:

- Barato
- Incoloro
- Inodoro
- Seguro
- Fácilmente disponibles

TABLA 2
CONDUCTIVIDAD TÉRMICA DE GASES COMUNES
UTILIZADOS PARA LLENAR UNIDADES DE VIDRIO AISLANTE
TOMADO DE LBL WINDOW 4.1 GAS LIBRARY

GAS	CONDUCTIVIDAD TÉRMICA * (BTU / Hr-Ft-°F)
AIRE	0.0139
ARGÓN	0,0094
CO2	0,0084
SF6	0,0075
CRIPTÓN	0,0050

* Cuanto menor sea la conductividad térmica, mejor aísla el gas contra la pérdida de calor

OK, tal vez haya algo de ciencia espacial

La "clave" para fabricar con éxito una unidad insulada llena de argón es, por supuesto, mantener el argón en la unidad, es decir, no dejar que se escape. Si se filtra, no solo pierde el beneficio de desempeño, la unidad puede colapsar.

La retención del argón en la unidad insulada depende de varios factores:

- El tipo de sellador (s) utilizado (s)
- El diseño del sello (s) y el espaciador
- Mantener la integridad del sello

Argonomía

El estándar aceptado para la retención de gas en una unidad insulada, basado en el estándar alemán DIN 1286, es una tasa de pérdida máxima del 1% por año. Esto se traduce en una retención del 80% o más del llenado de gas (argón en nuestro ejemplo) después de 20 años de servicio. Con los materiales, el diseño y la mano de obra adecuados, este es un objetivo alcanzable. La retención de menos del 80% del relleno de argón comprometerá seriamente la capacidad de desempeño aislante y la estructura de la unidad.

Selladores

La propiedad física crítica de los selladores que afecta la retención de gas es la permeabilidad. La permeabilidad es la facilidad de movimiento de los gases a través de un material. Existe una amplia gama de permeabilidad en los selladores de unidades insuladas más comúnmente utilizados, como se muestra en la TABLA 3.

TABLA 3
PERMEABILIDAD DEL SELLADOR * A ARGÓN
NORMALIZADO A POLIISOBUTILENO (PIB)

SELLADOR	RANGO RELATIVO AL PIB
Poliisobutileno	1
Mezcla caliente de butilo	3
Polisulfuro	40
Poliuretano	90
Silicona (dos partes)	3000
<i>* Para productos específicos, consulte al fabricante del sellador.</i>	

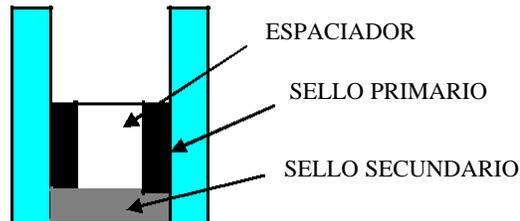
Lo que ilustra la TABLA 3, por ejemplo, es que ciertas siliconas de dos partes son 3.000 veces más permeables que el poliisobutileno, o, dicho de otra manera, algunas siliconas de dos partes permitirán que el argón escape 3.000 veces más rápido que el PIB en las mismas condiciones. Los selladores de silicona de un componente, en general, tienen una permeabilidad aún mayor.

Diseño del sello

Centrémonos en una unidad INSULADA de sello doble típica como se muestra en la Figura 2

Argonomía

Figura 2
CONSTRUCCIÓN TÍPICA DEL BORDE DE LA UNIDAD INSULADA DE DOBLE SELLO



La principal barrera para la retención de gas es el sello primario que, en unidades INSULADA de sello doble, es PIB (poliisobutileno). De la TABLA 3, podemos ver que PIB tiene la permeabilidad más baja de cualquiera de los selladores de unidad aislada comúnmente usados. Si se construye correctamente, se puede esperar que dicha unidad cumpla con los requisitos aceptables de retención de argón. **si se mantiene la integridad del sello primario.**

El flujo de un gas a través del sellador se calcula utilizando la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{(\alpha) (\Delta P) (A)}{(L)}$$

dónde

- Q es el flujo
- α es la permeabilidad del material
- ΔP es la diferencia de presión parcial (espacio de gas al exterior) del gas involucrado
- A es el área de la sección transversal del sello
- L es la longitud de la trayectoria del sello

En palabras, la fórmula dice que el flujo de gas es igual al producto de la permeabilidad del sello (α), la diferencia de presión parcial del gas involucrado (ΔP) y el área de la sección transversal del sello (A), todo dividido por la longitud de la trayectoria del sello (L). Dada una presión parcial, la tasa de flujo (pérdida) de gas se puede reducir mediante:

- minimizar el área de la sección transversal del sello (A)
- minimizar la permeabilidad del sello (α)
- maximizando la longitud de la trayectoria del sello (L)

Durante el servicio, los selladores se trabajan mediante la acción de bombeo causada por cambios de temperatura, cambios barométricos, cargas de viento y cargas térmicas. El poliisobutileno tiene poca resistencia a dicho movimiento y puede deformarse, donde el área de la sección transversal (A en la fórmula anterior) aumenta mientras que simultáneamente se "estrecha" su longitud de trayectoria (L en la fórmula anterior), lo que conducirá a velocidades mayores. de pérdida de argón. Como puede verse en la fórmula anterior, ambos cambios aumentarán el caudal de gas a través del sellador, ya que A se hace más grande y L se hace más pequeño.

Argonomía

Hasta cierto punto, la deformación del PIB depende de la capacidad del sello secundario para resistir los movimientos impuestos. Sin embargo, en mayor medida, la configuración del espaciador controla las tensiones en el PIB y la deformación resultante del cordón sellante del PIB. Durante los ciclos de cambio de presión interna de la unidad insulada, los bordes de la unidad insulada tenderán a girar. Si el espaciador tiene forma de caja y es relativamente rígido, casi todo ese movimiento se traducirá en tensión en el PIB y deformación del cordón de PIB, lo que eventualmente conducirá a la formación de celdas de cavitación (huecos) dentro del cuerpo del PIB, similares a las que se muestran en la Figura 3.

FINSULADAURA 3 CAVITACIÓN DEL SELLO PRIMARIO



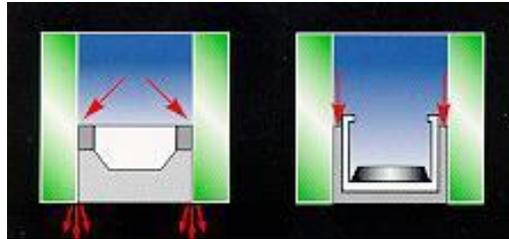
Atrapamiento de gas en el sello primario debido al bombeo del sello durante los ciclos climáticos (sello secundario de módulo bajo)

Si el espaciador es flexible, las rotaciones del borde del vidrio serán acomodadas por el espaciador con una deformación reducida en el cordón de PIB. Esta diferencia fundamental aumenta enormemente la retención de argón en las unidades insuladas con espaciadores flexibles en comparación con las unidades insuladas con espaciadores rígidos. Con espaciadores rígidos, el uso de selladores secundarios de módulo relativamente alto, como polisulfuro o poliuretano, reducirá la deformación del PIB y, en consecuencia, retrasará la pérdida de gas, mientras que los selladores de módulo más bajo como la silicona permiten una mayor deformación del PIB y, en consecuencia, mayores tasas de pérdida de gas.

Se ha realizado una amplia investigación y desarrollo de Vitro para encontrar el procesamiento de vidrio aislante adecuada para retener el gas argón. La forma y flexibilidad del espaciador Intercept™, como se ilustra en la Figura 4 a continuación, combinada con selladores de baja permeabilidad, proporciona uno de los diseños más efectivos disponibles para mantener el gas argón dentro de la unidad de vidrio aislante.

Figura 4 RUTAS DE ESCAPE DE ARGÓN

Argonomía



**Fatiga potencial
del sellador**

**Menos estrés del sellador
debido a los espaciadores flexibles**

Si, además de un módulo bajo, el sello secundario tiene una alta permeabilidad, como ocurre con la silicona, no existe una segunda línea de defensa para retener el gas. La TABLA 4 representa los resultados de las pruebas para medir la retención de argón en unidades insuladas desgastadas y no erosionadas con diferentes construcciones de bordes.

TABLA 4
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TASA DE PÉRDIDA DE ARGÓN*
SEMINARIO TÉCNICO, INTERVIDRIO METAL, 1993
BASADO EN EL MÉTODO DE PRUEBA DIN 1286

TIPO DE SELLADOR (PIB PRIMARIO)	TASA DE PÉRDIDA % POR AÑO	
	NO ENVEJECIDO (# de muestras = n)	ENVEJECIDO (# de muestras = n)
Sello doble de polisulfuro	0,4 (n = 122)	0,6 (n = 128)
Sello doble de poliuretano	0,8 (n = 15)	0,9 (n = 13)
Sello doble de silicona	6,5 (n = 30)	13,6 (n = 10)

* Presentado por Morton International - "Desempeño de unidades insuladas llenas de gas"

El Institut für Fenstertechnik eV realizó pruebas similares de las unidades de vidrio aislante Intercept® bajo la dirección del profesor Schmid. La prueba se realizó utilizando DIN 1286 parte 2, que requiere la evaluación de dos muestras. Los resultados de la prueba se muestran en la Tabla 5.

Argonomía

TABLA 4
RESULTADOS DE LA PRUEBA DE TASA DE PÉRDIDA DE ARGÓN
UNIDADES DE DOBLE SELLO CON SELLO SECUNDARIO DE POLISULFURO
BASADO EN EL MÉTODO DE PRUEBA DIN 1286

MUESTRA NO.	TASA DE PÉRDIDA DE GAS EN% POR AÑO
Muestra 1	0,14
Muestra 2	0,16

¿Qué sucede cuando el argón se escapa?

A medida que el argón se escapa de una unidad INSULADA, el oxígeno y el nitrógeno (que representan el 99% de nuestra atmósfera) se filtran al "espacio aéreo", **pero menos de la mitad de rápido que el argón**. El resultado final es una diferencia de presión entre la atmósfera y el espacio aéreo sellado (presión más baja en el espacio aéreo que en la atmósfera exterior) que hace que el vidrio se desvíe hacia adentro, también conocido como unidad colapsada. Las Figuras 4 y 5 son ejemplos del mundo real de unidades colapsadas causadas por la pérdida de argón debido al tipo y geometría de los selladores utilizados en las unidades de vidrio aislante.

FINSULADAURA 5



TENGA EN CUENTA LAS REFLEXIONES DISTORSIONADAS DE LOS CUARTERONES VERTICALES CAUSADAS POR LA DEFLECCIÓN DEL VIDRIO COMO RESULTADO DE LA PÉRDIDA DE ARGÓN Y EL POSTERIOR COLAPSO DE LA UNIDAD.

FINSULADAURA 6



TENGA EN CUENTA LA SEVERA DISTORSIÓN EN LAS LÁMINAS SUPERIORES DEL VIDRIO, CAUSADA DE NUEVO POR LA DEFLECCIÓN DEL VIDRIO A MEDIDA QUE EL ARGÓN SE ESCAPE Y LA UNIDAD SE COLAPSA.

Argonomía

Para comprender por qué el argón se escapa más rápido de lo que puede ser reemplazado, necesitamos hablar sobre (A) presiones parciales y (B) la permeabilidad del sellador en relación con los gases involucrados. La presión parcial es la fuerza impulsora que hace que un gas vaya del punto A (dentro del espacio aéreo) al punto B (fuera del espacio aéreo), mientras que la permeabilidad de un sellador describe cuán fácil o difícil es para el gas moverse a través del espacio aéreo. material.

(A) Diferencias parciales de presión (ΔP) en una unidad llena de argón al 100%:

- Argón 14,7 psi - 0,1 psi = 14,6 psi (del espacio gaseoso a la atmósfera)
- Oxígeno 3,1 psi - 0,0 psi = 3,1 psi (de la atmósfera al espacio de gas)
- Nitrógeno 11,5 psi - 0,0 psi = 11,5 psi (de la atmósfera al espacio de gas)

Por ejemplo: La unidad insulada tiene 100% de argón a presión atmosférica = 14,7 psi; el ambiente exterior es <1% de argón a 14,7 psi o $14,7 \times 0,01 = 0,1$ psi y la diferencia de presión parcial es, como antes, $14,7 - 0,1 = 14,6$ psi desde el espacio de gas a la atmósfera.

(B) Permeabilidad del sello (α) - normalizado a nitrógeno y basado en un promedio de permeabilidades de material publicado (Branrup, Immergut, Manual de polímeros, 2da edición, John Wiley & Hijos, 1975).

- Argón 4.1 X Nitrógeno
- Oxígeno 4.2 X Nitrógeno
- Nitrógeno 1.0

Lo que esto significa es que, independientemente de la permeabilidad real del sellador, tanto el argón como el oxígeno penetrarán aproximadamente 4 veces más rápido que el nitrógeno a través del mismo sellador.

Si sustituimos estos valores en la fórmula (para el flujo de gas) de la página 5, podemos establecer las siguientes relaciones, dada la misma longitud de la trayectoria del sello y la misma área de sección transversal.

- Argón (distribución) = $4,1 \times 14,6 = 59,9$
En palabras, la permeabilidad a los gases (α) veces la presión parcial del argón (ΔP)
- Oxígeno (flujo de entrada) = $4,2 \times 3,1 = 13,0$
- Nitrógeno (flujo de entrada) = $1,0 \times 11,5 = 11,5$

Si sumamos los números de "flujo hacia adentro" de oxígeno y nitrógeno, tenemos un ímpetu total hacia adentro de 24.5. Dado el impulso de 59,9 hacia el exterior del argón, está claro que el argón fluirá fuera de la unidad $59,9 / 24,5$ o **2,4 veces más rápido que el oxígeno y el nitrógeno entrarán y lo reemplazarán.** Este desequilibrio en las tasas de flujo puede resultar en una pérdida neta de gas en el espacio aéreo que provocará una reducción de la presión del espacio aéreo y, finalmente, el colapso de las unidades. En unidades colapsadas, las láminas de vidrio se desvían hacia adentro entre sí con las siguientes posibles consecuencias:

- Distorsión óptica
- Desempeño térmico reducido
- Frote de película de baja emisividad en el centro

Argonomía

- Fallo del sello
- Rotura de vidrio

Conclusión

Primero, resumamos lo que hemos discutido sobre el uso de argón en la fabricación de unidades de vidrio aislante.

- El argón es **beneficioso** - Tiene una influencia significativamente mayor en la mejora del desempeño del vidrio aislante que algunos tipos de recubrimientos de baja emisividad depositados al vacío.
- La pérdida de argón y las unidades de vidrio aislante colapsadas resultantes pueden ocurrir con el uso de algunos tipos de selladores y geometrías de sellos de borde.
- Los beneficios de conservación de energía del argón se pueden lograr y la pérdida de argón se puede controlar satisfactoriamente con sistemas de sellador y espaciador de unidades de vidrio aislante diseñados y fabricados adecuadamente.

Los mecanismos implicados en la pérdida de argón en unidades insuladas son bien conocidos y comprendidos, al igual que las soluciones al problema. **No es necesario evitar la fabricación o el uso de argón relleno unidades.** De hecho, con las demandas cada vez mayores de los consumidores, los requisitos del código de construcción y el gobierno, el beneficio de desempeño del argón es necesario, rentable y lo correcto. Las unidades insuladas llenas de gas argón energéticamente eficientes, con una retención de gas aceptable, se pueden producir mediante la selección adecuada de un sellador de baja permeabilidad, un espaciador diseñado adecuadamente y la aplicación correcta del sellador.

Existen tecnologías en el mercado que han abordado y resuelto el problema de la pérdida de argón y el colapso resultante de la unidad de vidrio aislante. Esas tecnologías están ampliamente disponibles en la actualidad y habrá nuevas tecnologías disponibles en el futuro. Eliminar el argón, o evitar su uso, sería un paso atrás. Conservemos lo que hemos ganado, y luego salgamos todos y busquemos la próxima buena alternativa de bajo costo que pueda vencerla.

Argonomía

HISTORIAL DE LA TABLA		
ARTICULO	FECHA	DESCRIPCIÓN
Publicación orinsuladainal	Marzo de 1997	Documento de servicios técnicos
Publicar en el sitio de Internet	8/5/2002	Argonomía - con cambios menores.
Revisión 1	2016-10-04	Actualizado al formato y logotipo de Vitro

Este documento tiene como objetivo informar y ayudar al lector en la aplicación, uso y mantenimiento de los productos Vitro Vidrio Arquitectónico. El desempeño y los resultados reales pueden variar según las circunstancias. **Vitro no ofrece garantía ni garantía sobre los resultados a obtener, del uso de toda o parte de la información proporcionada en este documento, y por la presente renuncia a cualquier responsabilidad por lesiones personales, daños a la propiedad, insuficiencia del producto o cualquier otro daño de cualquier tipo o naturaleza que surja del uso por parte del lector de la información contenida en este documento.**