

Ensayos de resistencia post-rotura para aplicaciones en techos de vidrio laminado

Resumen

El comportamiento en términos de diseño y estructural del vidrio laminado en aplicaciones de acristalamiento de techos, tales como marquesinas, y lucernarios es vital dado que repercute en la seguridad de los usuarios de un edificio y de los trabajadores encargados de su mantenimiento. La resistencia post-rotura de la construcción de vidrio laminado es de suma importancia en el caso de dichas aplicaciones del vidrio. La resistencia pre-rotura puede ser prevista con una precisión razonable mediante paquetes de software basados en cálculos FEM (método de elementos finitos) tales como SJ Mepla, que permiten al usuario introducir las características mecánicas de las entrecapas viscoelásticas junto al vidrio. Sin embargo, la resistencia post-rotura del vidrio continúa siendo un ámbito desconocido dado que los modelos analíticos para esto no permiten por el momento sacar conclusiones y por lo tanto los ensayos destructivos continúan siendo la única solución fiable. Se realizaron unas pruebas de impacto, que simulan la caída accidental de un trabajador de mantenimiento, para evaluar la resistencia “caída a través” de construcciones de vidrio laminado ancladas en un punto variando las entrecapas viz, PVB, lonómero, PVB rígido y EVA. Además, se condujeron ensayos de duración media (30 min. o más) de resistencia post-rotura bajo las nuevas premisas y el estándar alemán pr DIN 18008-6 a temperatura bajo cero (-20 °C), siendo la temperatura de la habitación de (21 °C) y a temperaturas elevadas de 50 °C. Se midieron también las deformaciones para estimar el valor del módulo de flexión de la construcción de laminado rota.

Autores:

Malvinder Singh Roprai
Ingo Stelzer

Introducción

El vidrio laminado presenta una notable mejora de la resistencia post-rotura frente a una capa de vidrio monolítico, los fragmentos de vidrio se adhieren a las entrecapas de manera que subsiste cierta capacidad estructural dado que los fragmentos de vidrio se “arquean” o fijan en el sitio. Esta capacidad depende de la fragmentación del vidrio y aumenta con el tamaño creciente de los vidrios. Por lo tanto, los elementos de vidrio laminado logran mantener una capacidad estructural particularmente elevada cuando están hechos de vidrio recocido o termoendurecido, ya que éstos se rompen en fragmentos de gran tamaño. Más allá de esto, el comportamiento post-rotura del vidrio depende del material de la entrecapa. La entrecapa más habitual es la de PVB, cuyas propiedades mecánicas dependen en gran medida de la temperatura y del tiempo que se aplica la carga. El PVB es blando a temperatura ambiente con una elongación en la ruptura por encima del 250%. La transferencia de cortantes se ve muy afectada en el caso de las temperaturas

Tipo de entrecapa	Densidad	Módulo de Young @ 50 °C, para una hora de carga	Coefficiente de Poisson	Coefficiente de Expansión Térmica	Resistencia a la Tensión
lonómero	850 Kg/m ³	12,6 MPa	0,5	1,25x10 ⁻⁴ /°C	44 MPa
PVB	1070 Kg/m ³	0,16 MPa	0,5	2,2x10 ⁻⁴ /°C	25 MPa
PVB Rígido	1081 Kg/m ³	1,86 MPa	0,5	1,6x10 ⁻⁴ /°C	35 MPa

Tabla 1: Comparativa de las propiedades mecánicas de lonómero, PVB & PVB rígido

más elevadas y a tiempos de carga mayores¹. La baja rigidez de la entrecapa de PVB da lugar a un “efecto manta” (Fig. 1) tan pronto como se rompe el vidrio, incluso para aplicaciones verticales, fruto del peso-propio del panel, especialmente en el caso de paneles de gran tamaño y soportes mínimos. Las entrecapas de lonómero de Kuraray (inventadas originalmente por DuPont) han sido diseñadas con la intención de lograr mayores rigideces, resistencias a la temperatura más elevadas, y resistencias al rasgado mayores en aplicaciones del vidrio con fijación puntual. Esto ayuda a conseguir una resistencia post rotura-superior, y un diseño con redundancia.

La tabla anterior establece una comparativa entre las propiedades mecánicas de las entrecapas de lonómero, PVB y PVB rígido.

La resistencia post-rotura se ve significativamente afectada por el patrón de rotura de las entrecapas de vidrio, las condiciones de apoyo y la temperatura. Los patrones de rotura del vidrio pueden variar en gran medida incluso para el mismo tipo de vidrio y esto hace que el modelado analítico de su resistencia post-rotura una tarea que roza lo imposible. Es por ello que los ingenieros deben de confiar en este caso en los ensayos destructivos. La resistencia post-rotura puede ser catalogada como:

1. Resistencia post-rotura inmediata contra la “caída a través”
2. Ensayos de resistencia post-rotura de duración media (Más de 30 Min. de acuerdo con la pr DIN 18008-6)

Se llevaron a cabo diferentes ensayos para los tipos de resistencias arriba listados y los mismos se recogen en este documento.

Resistencia post-rotura inmediata contra la “caída a través.”

Los ensayos de impacto fueron realizados en Intertek ATI Inc. en York, Pensilvania, dejando caer una bolsa blanda de 100 kg. (peso promedio de un trabajador de mantenimiento con sus herramientas y aparejos) desde una altura de 1,2 m. a una temperatura de ensayo de 50 °C. El método de ensayo simula una potencial entrada en carga por la instalación y / o trabajador de mantenimiento en una situación de peligro. Los paneles fueron acondicionados a una temperatura de 50 °C una hora antes de la realización del ensayo. El lugar de realización del ensayo se cerró con paneles aislantes para asegurar que no se produjeran variaciones en los resultados debido a la temperatura. Los paneles aislantes fueron retirados justo antes del impacto.

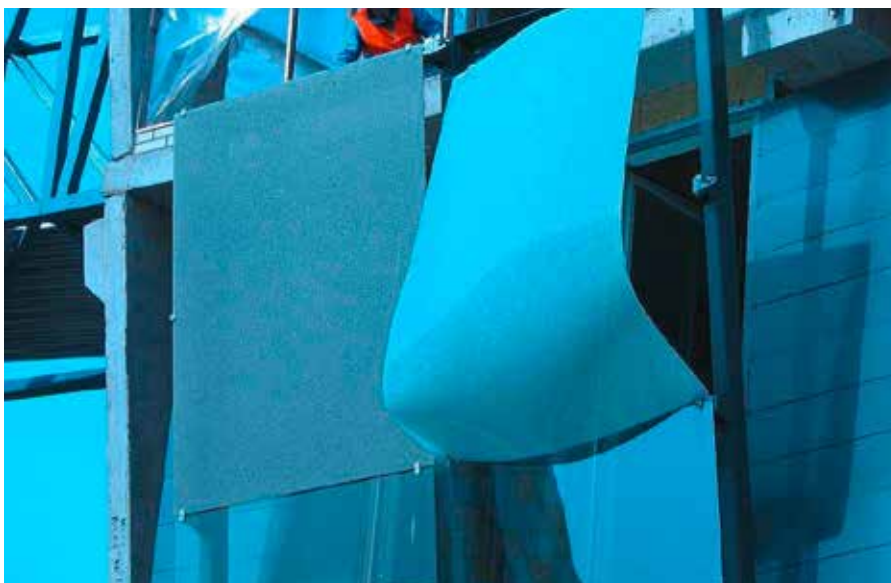


Fig. 1: El efecto manta

PARA MÁS INFORMACIÓN ACERCA DE LLEVAR AL VIDRIO AL LÍMITE DE SUS
POSIBILIDADES, VISITE: WWW.SENTRYGLAS.COM

kuraray



Fig. 2 (a & b): Aplicación de marquesina sin marco (fijada en un punto) sometida a una carga estática

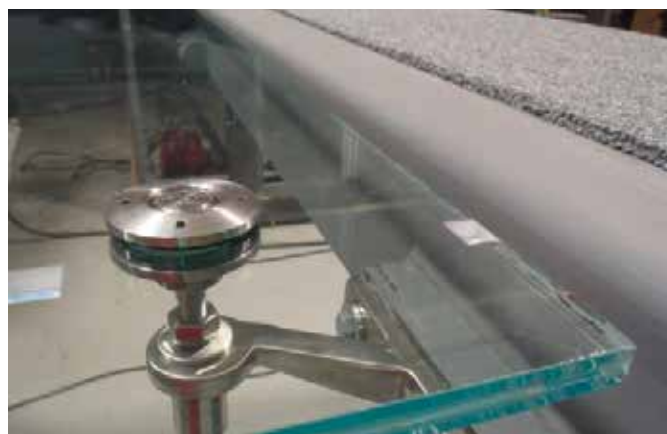


Fig. 3: Resistencia "caída a través" proporcionada por el laminado con lonómero

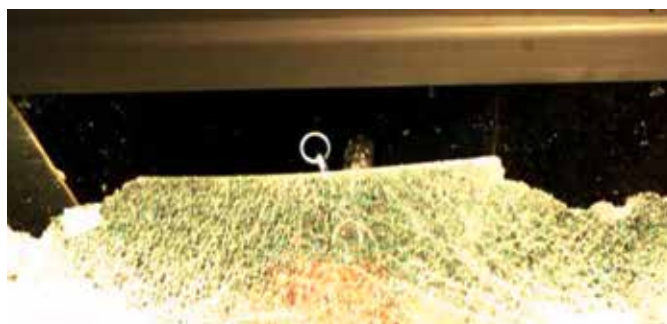


Fig. 4: El laminado con EVA no proporcionaba una resistencia "caída a través"

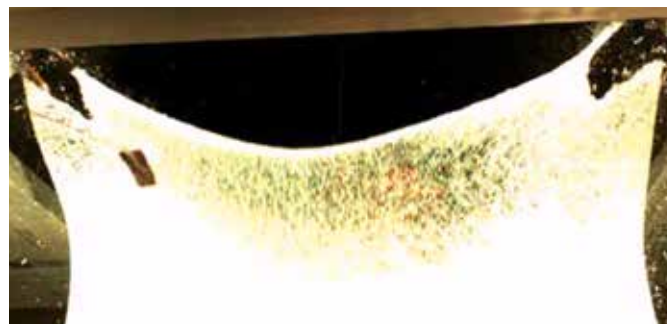


Fig. 5: El laminado con PVB no proporcionaba una resistencia "caída a través"



Fig. 6: El laminado con PVB rígido no proporcionaba una resistencia "caída a través"

La Fig. 2a muestra como el laminado fabricado con una entrecapa de lonómero proporcionaba una barrera contra el impactador al ser sometido a una carga estática. Se retiró el impactador tras 15 min sin que se observará ningún rasgado de la entrecapa en las rótulas (Fig. 2b). En los subsiguientes ensayos de impacto, este laminado proporciona una resistencia "caída a través" (Fig. 3), por contra los laminados hechos de EVA, PVB y PVB rígido de las Fig. 4, 5 y 6, respectivamente, se colapsaron tan pronto como el impactador golpeó y fracasaron a la hora de actuar a modo de barrera.

Ensayo de resistencia post rotura de duración media (30 minutos o más)

Exigencias normativas

La normativa alemana pr DIN 18008-6, (Vidrio en edificaciones - Normas de diseño & construcción - Exigencias adicionales para acristalamientos pisables relativas a los procedimientos de mantenimiento) elaborada en Febrero de 2015, ha hecho las exigencias relativas al rendimiento post-rotura para acristalamientos en techos, accesibles para el mantenimiento y la limpieza, más estrictas que nunca. La nueva normativa

exige que la construcción de vidrio soporte un peso de 100 kg durante un mínimo de 30 minutos tras la rotura de la capa superior del vidrio. En primer lugar, el panel es sometido al impacto de un impactador neumático gemelo de 50 kg de peso desde una altura de 900 mm. A esto le sigue la puesta en carga con la aplicación de 100 kg durante 30 minutos sobre un área de 200 x 200 mm (Fig. 7). Tras la rotura de la capa superior del vidrio, el elemento acristalado completo ha de permanecer en su soporte durante al menos 30 minutos. El ensayo se considera exitoso si la muestra no se escurre de los soportes, el impacto no penetra en el vidrio laminado y no caen fragmentos de vidrio peligrosos².

Los ensayos de resistencia post-rotura en paneles de vidrio soportados en un punto (1,5 m x 2,0 m) para una aplicación típica de marquesina fueron realizados por la Universidad de las Fuerzas Armadas de Múnich, en Alemania. Se prepararon 9 paneles de vidrio con cada una de las 4 entrecapas: lonómero (1,52 & 0,89mm), PVB rígido (1,52 mm) y PVB (1,52 mm) para ser sometidos a ensayos en 3 diferentes escenarios de temperatura. El objetivo era el saber qué tipo de construcción de entrecapa cumplía con las exigencias de la pr DIN 18008-6 a tres temperaturas diferentes (-20 °C, +21 °C y +50 °C). Se ensayaron 3 paneles

Ensayos de resistencia post-rotura para aplicaciones en techos de vidrio laminado



Fig. 7: Disposición del ensayo post-rotura para cada diferente escenario de temperatura. Se hizo un intento para evaluar la capacidad última de los laminados. Con todo, los aparatos de ensayo estaban limitados de tal manera que tan solo era posible aplicar una carga de 400 kg. Se acondicionó los laminados durante al menos

tres horas para cada escenario de temperatura. La cámara de ensayos disponía de un mecanismo de control de la temperatura de $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. La construcción del laminado con todos los diferentes tipos de entrecapas era lo suficiente fuerte como para soportar el impacto sin rotura alguna. Por lo tanto, la capa superior de los laminados en cada uno de los casos hubo de ser rota manualmente con un golpe central. Acto seguido se colocó un bloque de hormigón de 100 kg sobre el panel de vidrio durante 30 minutos. El ensayo pretendía evaluar el rendimiento post rotura último límite por lo que la carga se elevó hasta los 400 kg en incrementos de 100 kg cada uno e intervalos de 15 min entre cada incremento de carga.

Los laminados con entrecapas de Ionómero y PVB rígido soportaron esta carga de 400 kg sin colapsarse a temperaturas de $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+21\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Fig.8), por el contrario, en la Fig. 9, el laminado con PVB no podía soportar la carga de 100 kg a $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ al colapsarse en pocos segundos cuando entraba en carga dado que la entrecapa se rasgaba en las rótulas.



Fig. 8: Carga de 400 kg sobre laminado con Ionómero @ $21\text{ }^{\circ}\text{C}$

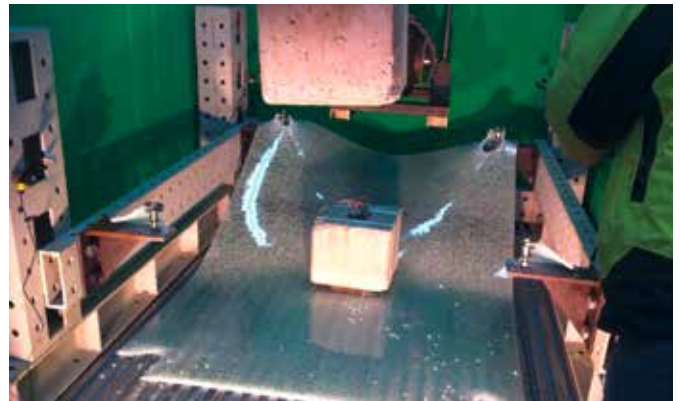


Fig. 9: Laminado con PVB con 100 Kg @ $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ colapsado

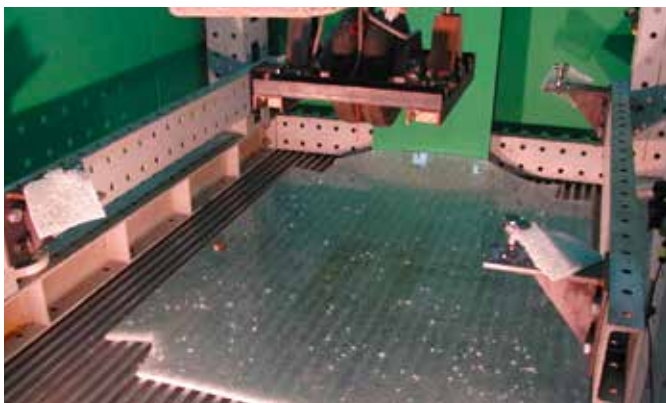


Fig. 10: Laminado con PVB roto colapsa a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$

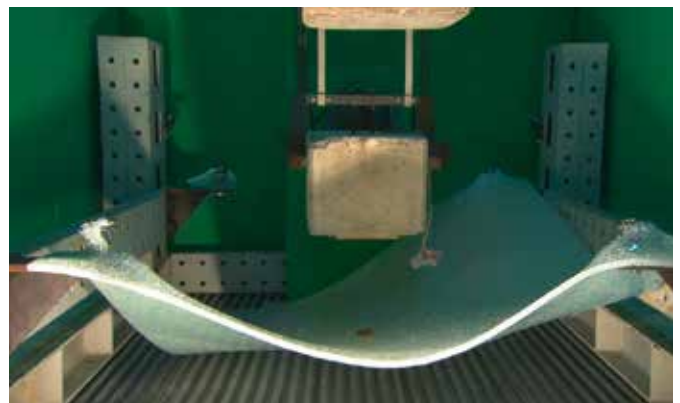


Fig. 11: Laminado con PVB rígido roto colapsa a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$



Fig. 12: Laminado con Ionómero de 0,89 colapsó a 200 kg

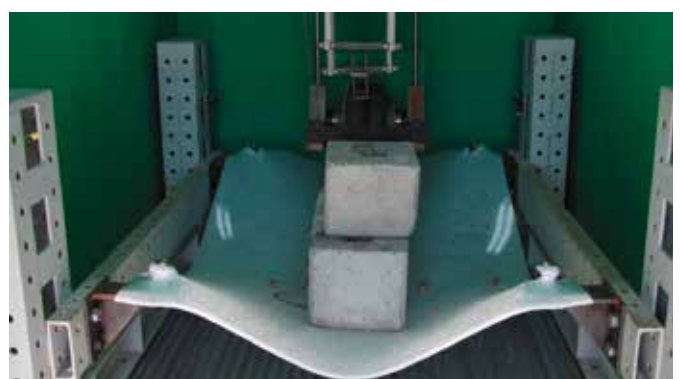


Fig. 13: Laminado con Ionómero de 1,52 colapsó a 300 kg

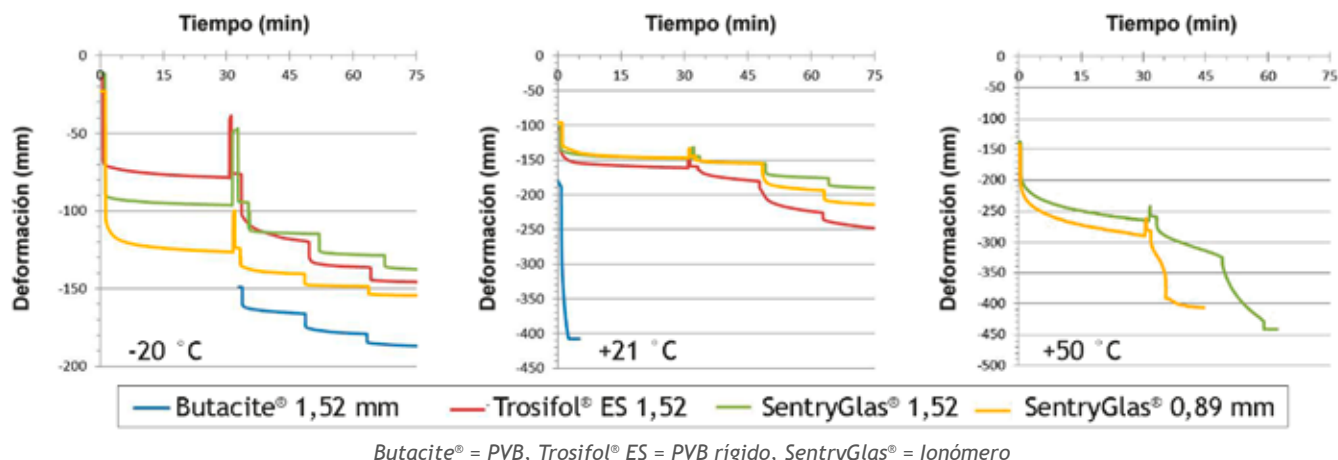


Fig. 14: Deformación Vs Medición del tiempo @ -20 °C Fig. 15: Deformación Vs Medición del tiempo @ +21 °C Fig. 16: Deformación Vs Medición del tiempo @ +50 °C

A una temperatura elevada de 50 °C, las construcciones de laminado con entrecapas de PVB & PVB rígido rotas no eran capaces de soportar su propio peso pues se colapsaron (Fig.10 & Fig. 11) poco después de la rotura de ambas capas.

Mientras, que la construcción de laminado hecha con una entrecapa de 0,89 mm de Ionómero soportó un peso de 100 kg más de 30 minutos y se colapsó cuando la carga se incrementó hasta los 200 kg (Fig.12). De manera similar, el laminado con Ionómero de 1,52 mm pudo soportar una carga de 200 kg durante más de 30 minutos tras la rotura y se colapsó cuando la carga se incrementó hasta los 300 kg (Fig.13).

Medidas de deformaciones para la estimación del Módulo para laminados rotos

Se realizaron mediciones de la deformación durante el ensayo para los tres escenarios de temperatura con la intención de llevar a cabo una estimación inversa del valor del módulo de la construcción del laminado. A -20 °C el laminado con Ionómero, de 1,52 mm de grosor, experimentó la menor de las deformaciones transcurridos 30 min (Fig. 14), mientras que a +21 °C los laminados con Ionómero, así como el laminado con una entrecapa rígida de PVB, superaron en rendimiento al laminado de PVB

standard (Fig. 15). Los laminados con entrecapa SentryGlas® ionoplast superaron el rendimiento del PVB rígido a +50 °C (Fig. 16).

Conclusiones

1. A -20 °C, los laminados hechos con las 4 entrecapas candidatas por ej. Ionómero de 0,89 mm, Ionómero de 1,52 mm, PVB de 1,52 mm y PVB rígido de 1,52 mm cumplen con las exigencias de resistencia post-rotura de la nueva normativa alemana pr DIN 18008-6.
2. A -20 °C, las 4 candidatas presentaban su última resistencia más allá de los 400 kg pues no se producía un colapso del panel por rasgado de la entrecapa en las rótulas.
3. A 21 °C, los laminados con Ionómero y PVB rígido cumplen con las exigencias de resistencia post-rotura de la DIN 18008-6 pero el laminado con PVB no.
4. A 21 °C, los laminados con Ionómero de 0,89 mm & 1,52 mm presentaban resistencias post-rotura prácticamente iguales durante aproximadamente 45 min tras la rotura.
5. Para regiones de clima tropical donde la temperatura ambiente es superior a los 45 °C, los laminados con entrecapa de Ionómero cumplen y rebasan las exigencias de la Normativa pr DIN 18008-6.

References

1. Structural Engineering Documents 10, Structural Use of Glass - Matthias Haldimann, Andreas Luible, Mauro Overend, ISBN 978-3-85748-119-2, 2008, Page 14-15.
2. Structural Engineering Documents 10, Structural Use of Glass - Matthias Haldimann, Andreas Luible, Mauro Overend, ISBN 978-3-85748-119-2, 2008, Page 172.

REGIONAL CONTACT CENTERS

Kurararay Europe GmbH
Business Area PVB
Mülheimer Straße 26
53840 Troisdorf, Germany
Phone: +49 (0) 22 41/25 55 - 220
E-Mail: trosifol@kuraray.eu

Kurararay America, Inc.
Applied Bank Center
2200 Concord Pike, Suite 1100
Wilmington, Delaware 19803
Phone: +1 800 635 3182

Copyright ©2015 Kuraray. All rights reserved. SentryGlas® es una marca registrada de E.I. du Pont de Nemours and Company o de sus filiales para sus marcas comerciales de entrecapas. Es utilizada bajo licencia exclusiva por Kuraray y sus sub-licencias. La información proporcionada aquí corresponde a nuestro conocimiento sobre el tema a la fecha de su publicación. Esta información puede verse sujeta a revisión cuando se disponga de nuevos conocimientos y experiencias. Los datos proporcionados entran en el ámbito de la gama normal de propiedades del producto y se refieren únicamente a los materiales específicos designados; estos datos pueden no ser válidos para dicho material si se utiliza en combinación con cualesquiera otros materiales o aditivos o en cualquier otro proceso, a menos que se indique expresamente lo contrario. Los datos proporcionados no deben utilizarse para establecer límites de especificación o utilizarse solos como base para el diseño; no pretenden sustituir ningún ensayo que pueda precisarse llevar a cabo para determinar si un material específico es adecuado para sus propósitos particulares. Ya que Kuraray no puede prever todas las variantes de uso final real, Kuraray no garantiza ni asume responsabilidad en relación al uso que se dé a esta información. Nada de lo expuesto en esta publicación puede considerarse como licencia para operar o como recomendación para infringir ningún derecho de patente.