

Resistencia de los materiales SAF™ a los productos químicos de la industria automotriz

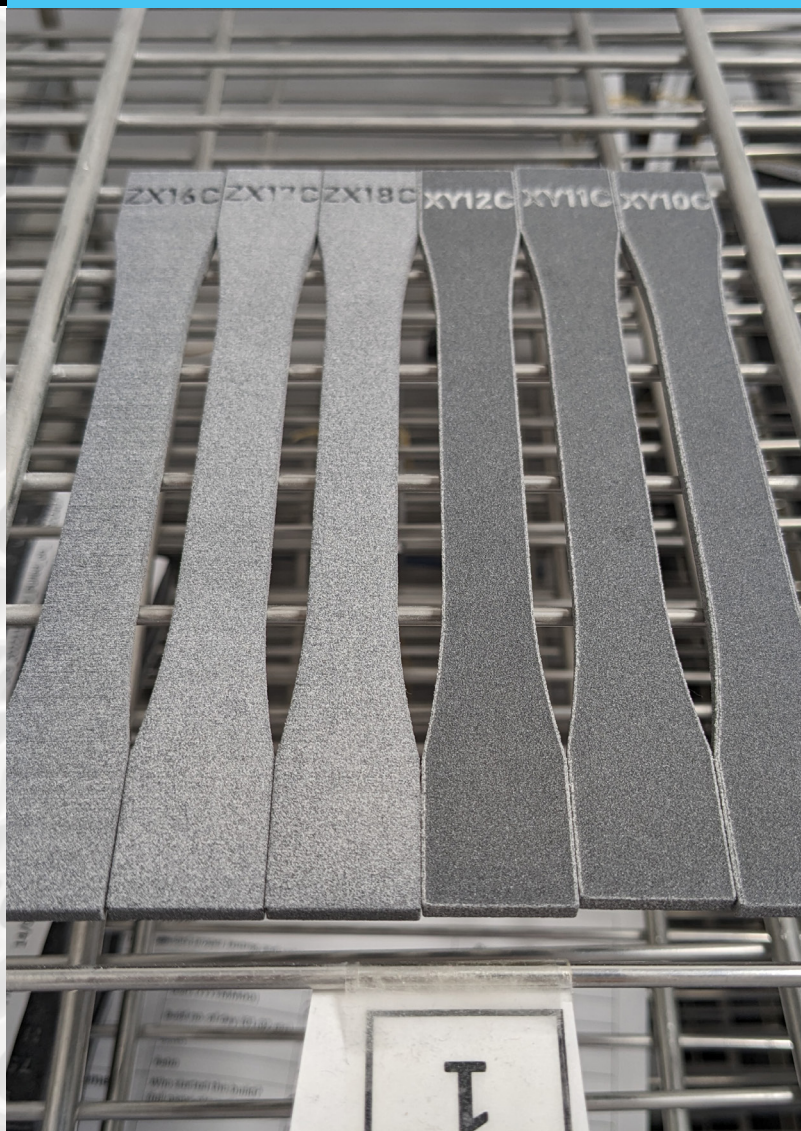
Los resultados se incluyen en esta documentación técnica.

Introducción

El objetivo de este documento es proporcionar a los clientes una indicación del rendimiento que tienen los materiales High Yield PA11, SAF PA12 y SAF PP de Stratasys® bajo exposición a productos químicos comúnmente utilizados en la industria automotriz.

Los reactivos probados fueron:

- Ácido de batería
- Anticongelante
- Aceite de motor sintético
- Grasa de silicona
- Grasa de petróleo
- Líquido limpiaparabrisas
- Agua destilada
- Gasolina
- Diésel





Metodología

El experimento se llevó a cabo de acuerdo con la norma ASTM D543, que define una práctica estándar de evaluación de la resistencia de los plásticos a los reactivos químicos.

Las muestras se crearon con impresoras 3D H350™ SAF™ de Stratasys y se probaron con las orientaciones de impresión vertical (ZX) y horizontal (XY). Los dos tipos de muestras utilizadas en la prueba fueron:

- Barras de tensión ASTM D638 Tipo 1, para evaluar cambios en las propiedades mecánicas
- Discos de 50,80 mm x 3,175 mm, para evaluar cambios dimensionales y de peso

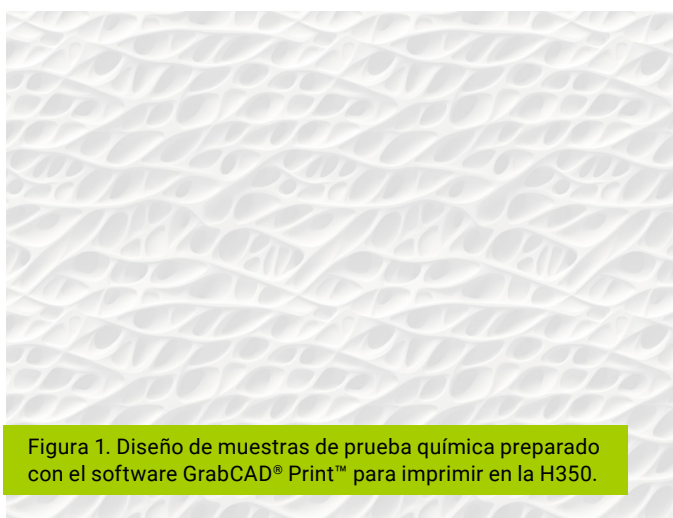
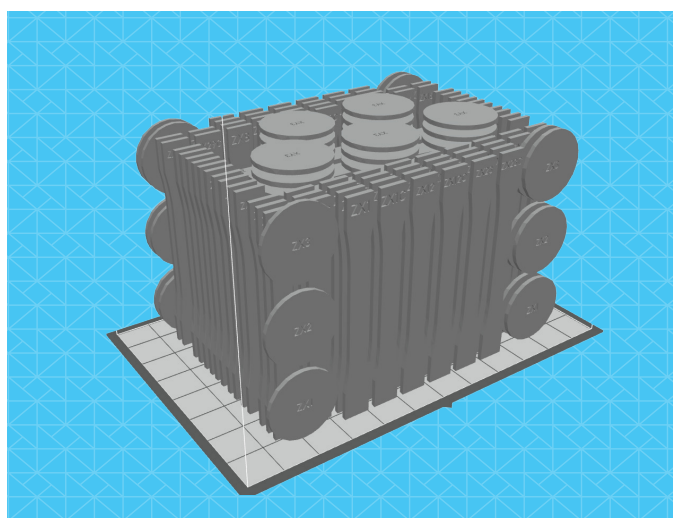


Figura 1. Diseño de muestras de prueba química preparado con el software GrabCAD® Print™ para imprimir en la H350.



Para cada experimento, todas las muestras se preconditionaron a 23 °C y 50 % de humedad relativa durante un mínimo de 40 horas antes del contacto con el reactivo. Las muestras de control permanecieron en los bastidores de preconditionamiento durante la duración del experimento (Figura 2), mientras que las de prueba se sumergieron en un baño de reactivos de 4 litros durante 168 horas (1 semana).

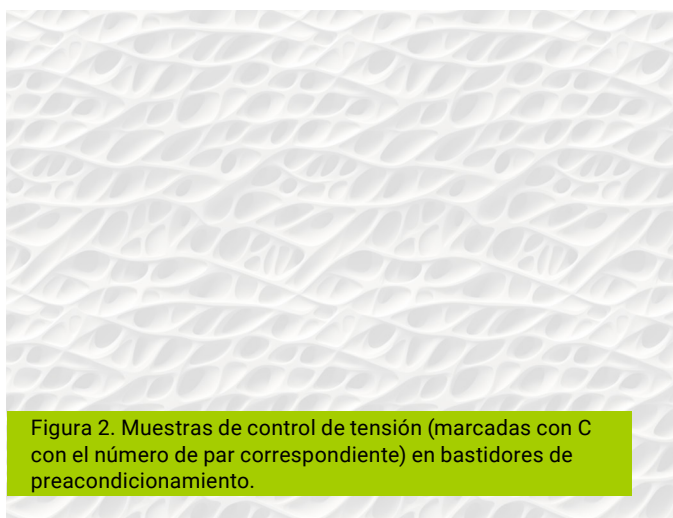
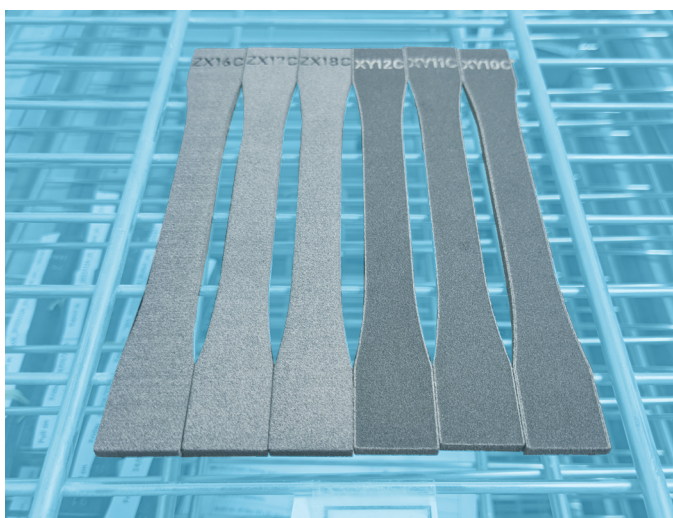


Figura 2. Muestras de control de tensión (marcadas con C con el número de par correspondiente) en bastidores de preconditionamiento.



Los marcos se fabricaron con acero inoxidable y alambre de nicromo para mantener las muestras en su lugar sin tocar las paredes del recipiente ni entre sí durante la inmersión en el reactivo (Figura 3).

También se colocó una barra de agitación magnética dentro del recipiente antes de sellar el experimento. Esto se utilizó para agitar el reactivo durante 30 minutos a seis intervalos de 24 horas antes de la extracción de las piezas a las 168 horas. Una placa de agitación magnética temporizada digitalmente (Figura 4) garantizó un tiempo de agitación constante en todos los experimentos.



Figura 3. Las piezas de prueba se mantuvieron en marcos de acero mientras estaban sumergidas en el reactivo.



Figura 4. Recipiente sellado para experimentos apoyado sobre la placa de agitación magnética temporizada digitalmente.

El método descrito anteriormente no sería práctico para la silicona y la grasa de petróleo. En su lugar, se optó por una capa gruesa de reactivo por pulverización al inicio de cada prueba, seguida de una reaplicación fina cada 24 horas. Las piezas se revisaron visualmente para garantizar una cobertura uniforme en cada aplicación.

Muestras para pruebas de tensión

Las pruebas de tensión se llevaron a cabo en un equipo de ensayo universal Tinius Olsen 10ST (Figura 5) de acuerdo con ASTM D638. Estas pruebas se llevaron a cabo dentro de los 30 minutos posteriores a la extracción del baño de reactivos.



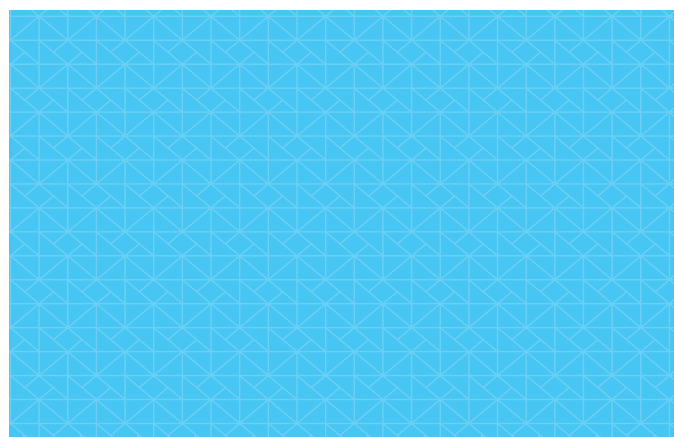
Figura 5. Aparato de ensayo de tensión utilizado.

Se probaron un total de 12 muestras por reactivo. Se sumergieron seis partes en el reactivo, mientras que se reservaron seis partes del mismo lote a fin de proporcionar valores de control para la prueba. Las piezas de control se imprimieron junto a sus respectivas piezas de prueba.



Discos de peso y dimensión

Las pruebas de peso y dimensión compararon los valores previos y posteriores a la inmersión de las muestras en forma de disco (Figura 6). Los pesos se midieron utilizando una balanza analítica A&D HR-100AZ. Los valores de espesor y diámetro se midieron manualmente utilizando un micrómetro y calibradores digitales, respectivamente. Se probaron un total de seis muestras de peso y dimensión por reactivo.

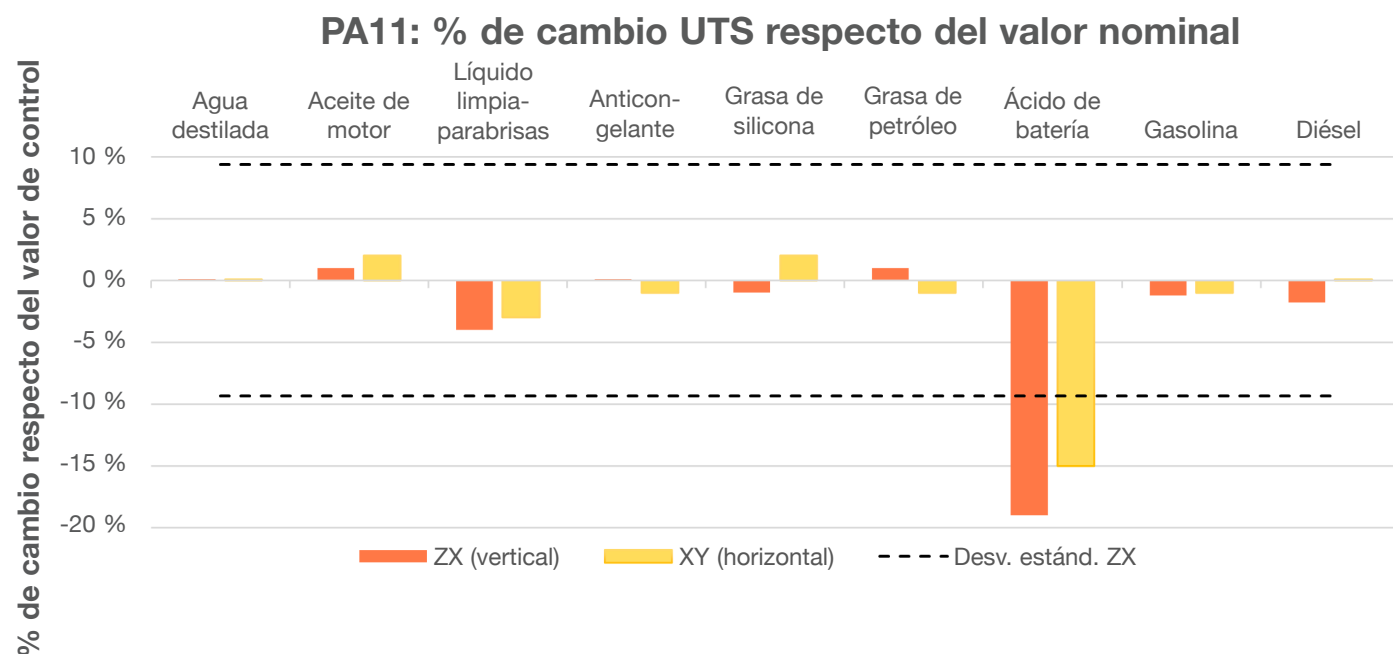


Todos los discos de peso y dimensión se mantuvieron otras 168 horas en bastidores de acondicionamiento tras retirarlos del reactivo. Luego, se los volvió a pesar para investigar cómo se secan las piezas después del contacto con estos productos químicos.

Gráficos de % de cambio por propiedad

Resultados de PA11

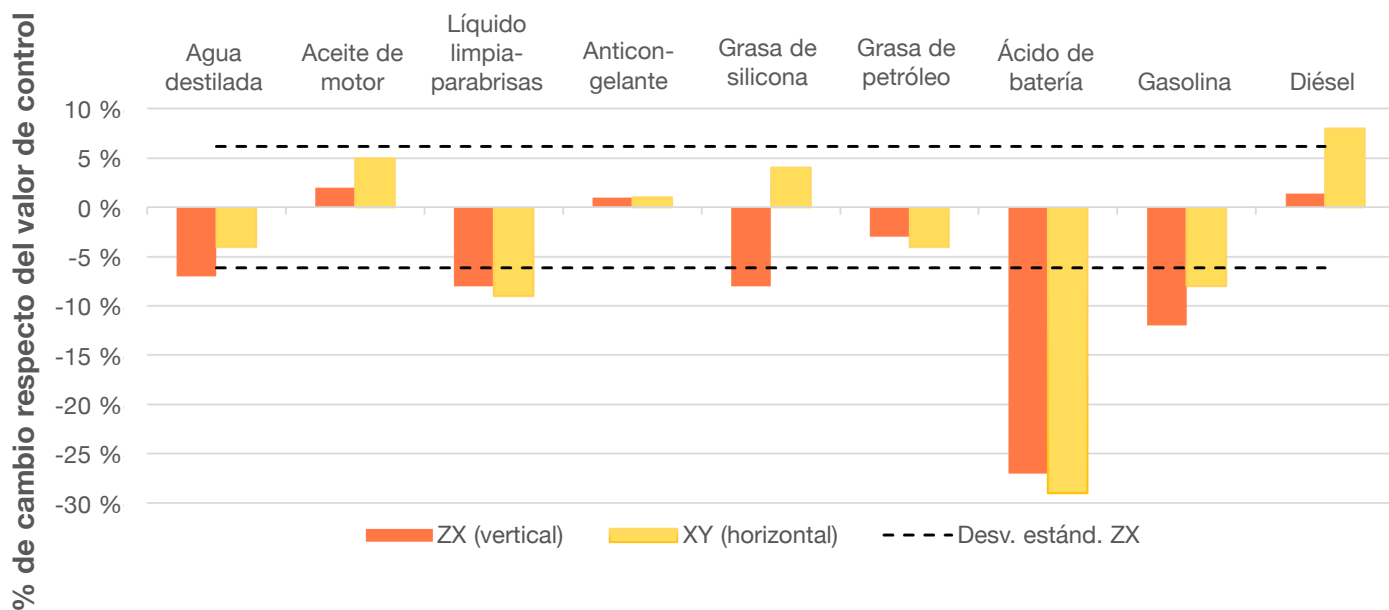
Como material preferido de Strataysys, los valores de desviación estándar están disponibles en nuestra hoja de datos de High Yield PA11. Estos se indican mediante las líneas discontinuas negras.



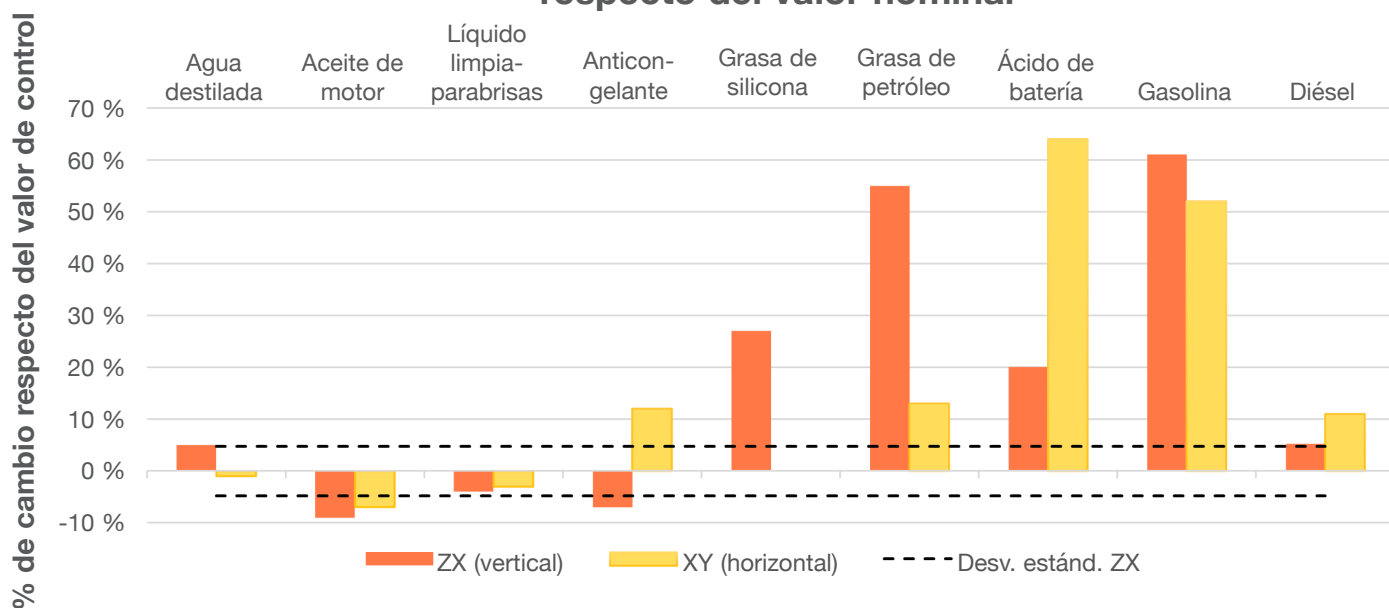


Resultados de PA11 (continuación)

PA11: % de cambio del módulo de Young respecto del valor nominal



PA11: % de cambio de la elongación al quiebre respecto del valor nominal



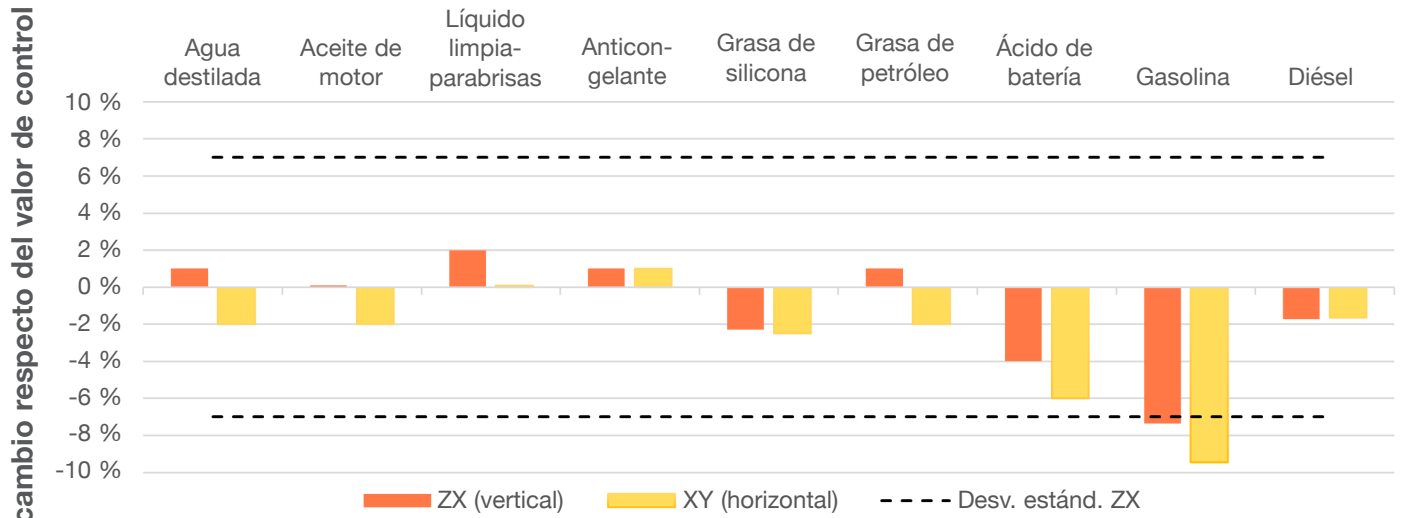


Gráficos de % de cambio por propiedad

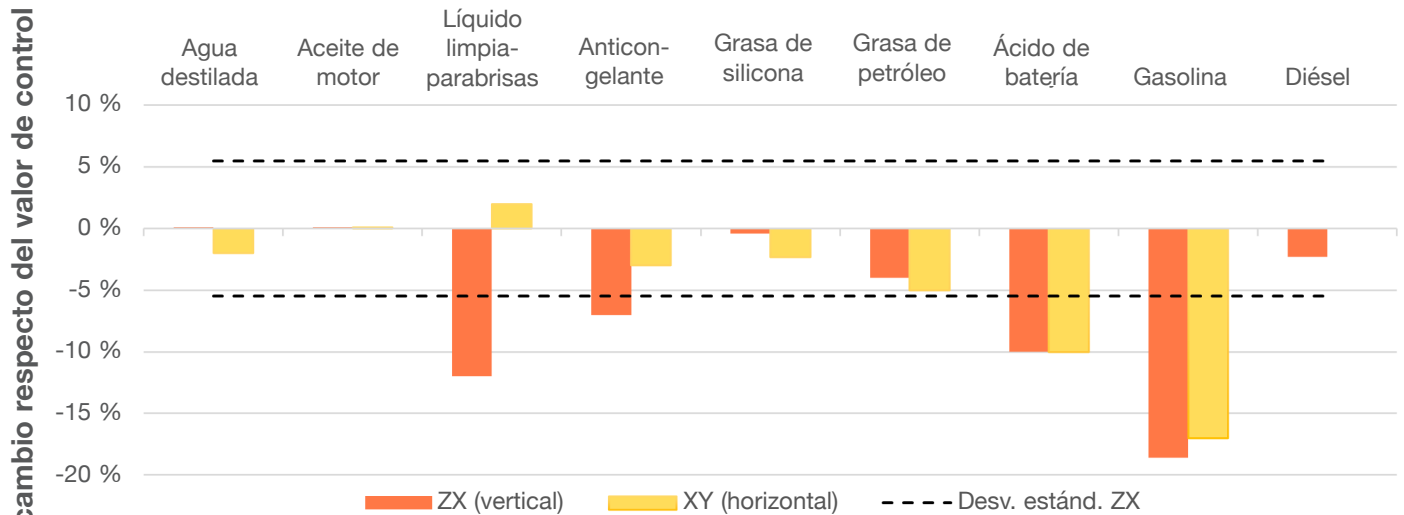
Resultados de PA12

Los valores indicativos de la desviación estándar se muestran en los gráficos mediante las líneas discontinuas negras.

PA12: % de cambio UTS respecto del valor nominal



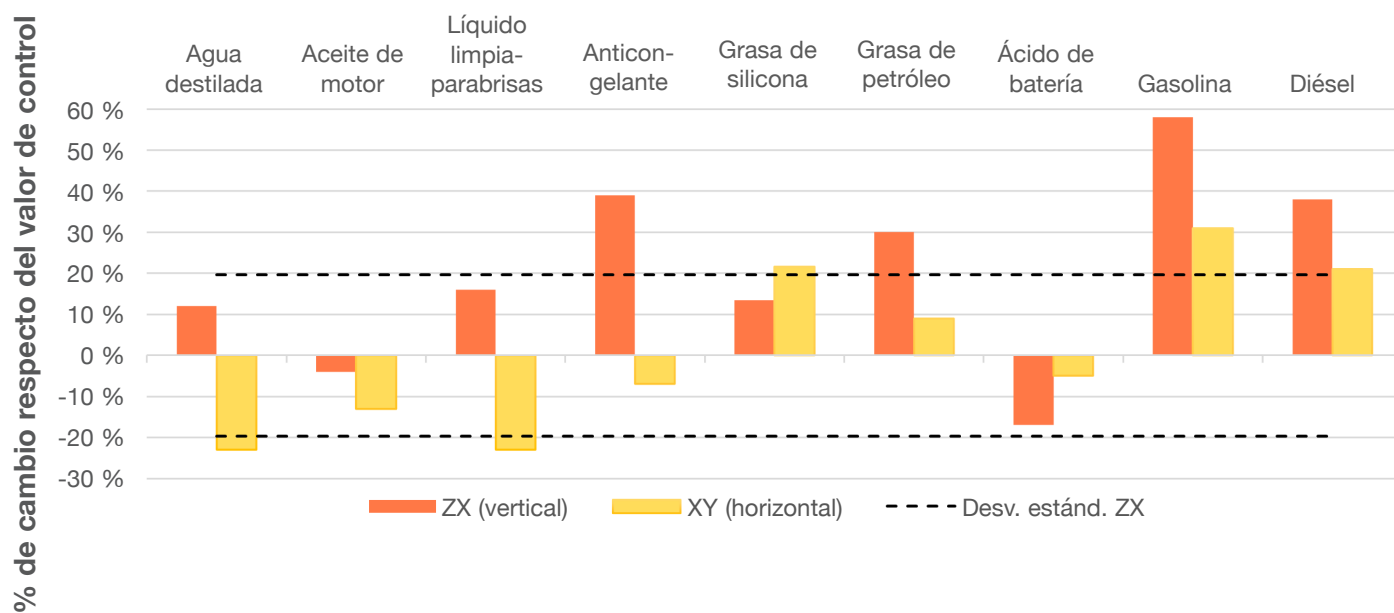
PA12: % de cambio del módulo de Young respecto del valor nominal





Resultados de PA12 (continuación)

PA12: % de cambio de la elongación al quiebre respecto del valor nominal





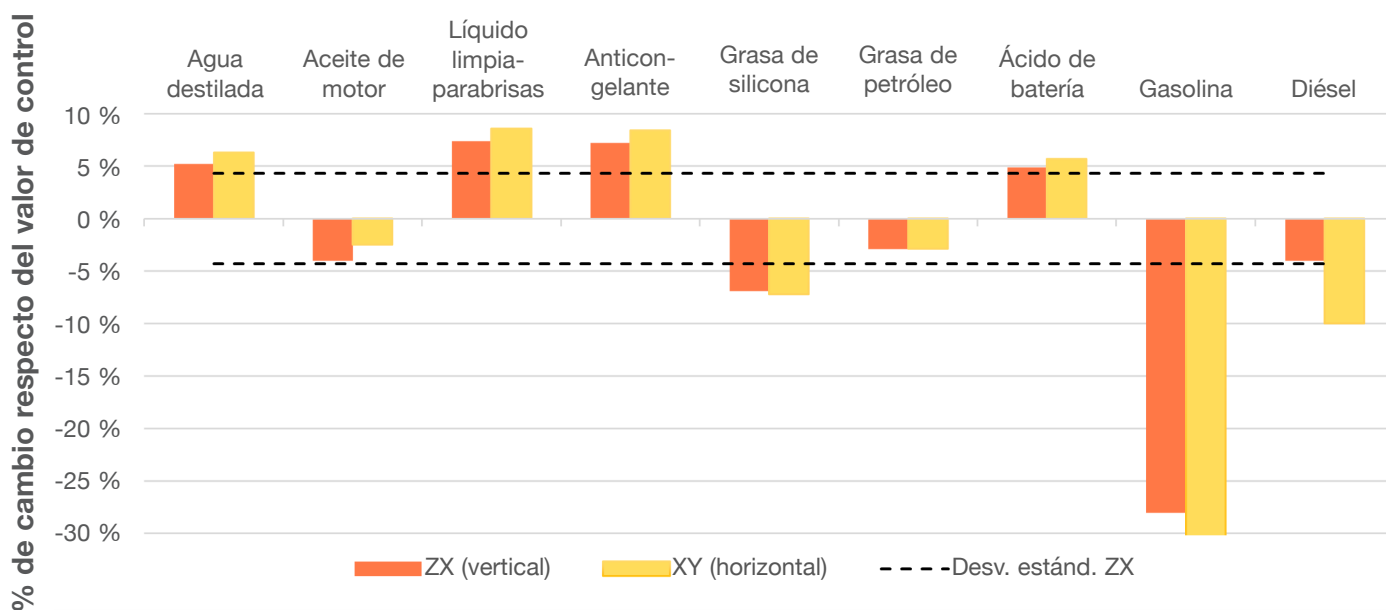
Gráficos de % de cambio por propiedad

Resultados de PP

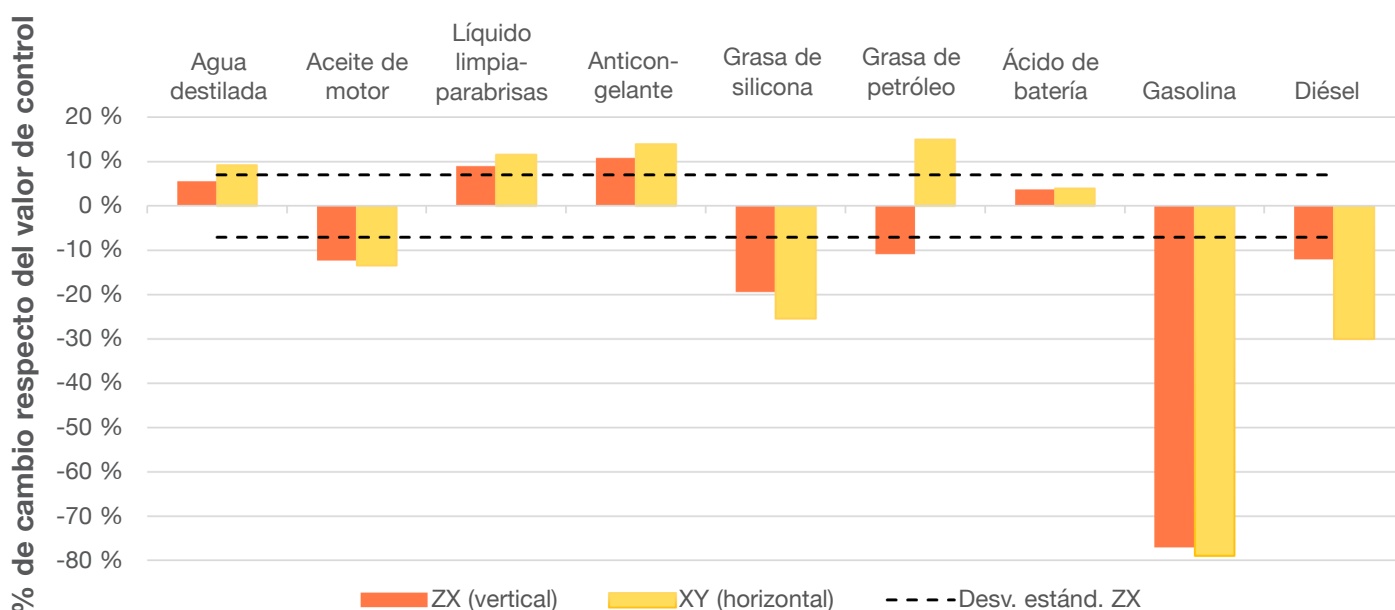
Como material preferido de StratasyS, los valores de desviación estándar están disponibles en la hoja de datos de SAF PP.

Estos se indican mediante las líneas discontinuas negras.

PP: % de cambio UTS respecto del valor nominal



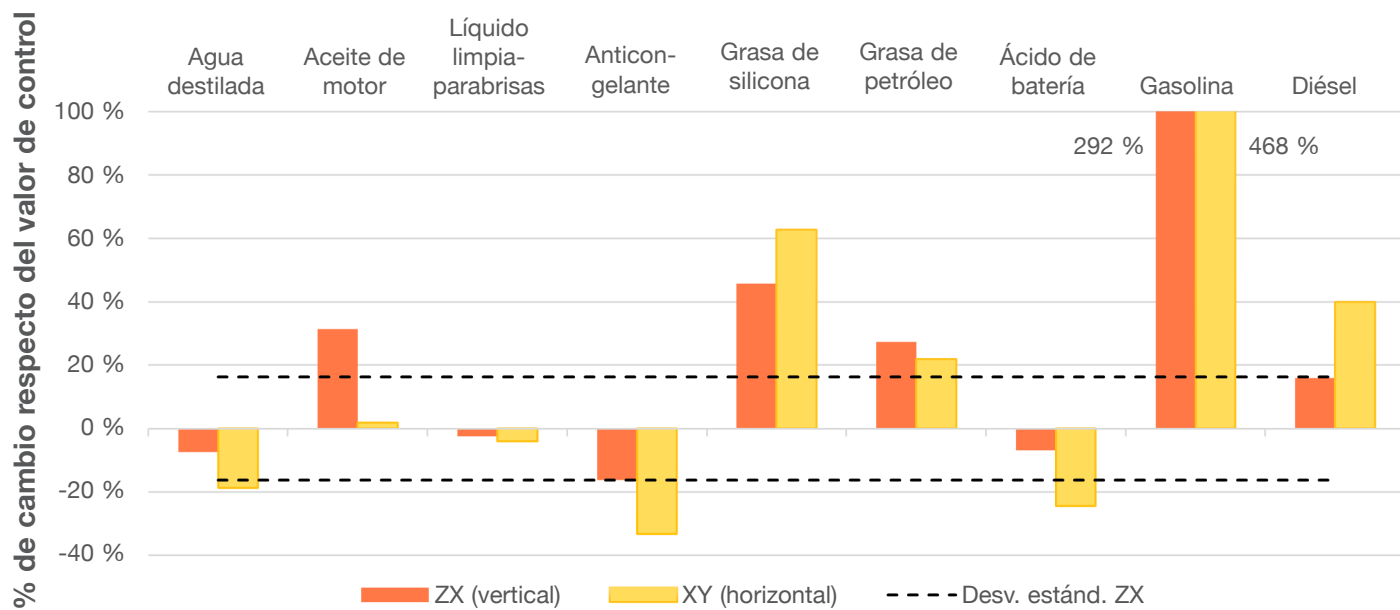
PP: % de cambio del módulo de Young respecto del valor nominal





Resultados de PP (continuación)

PP: % de cambio de la elongación al quiebre respecto del valor nominal





Tablas de resultados finales

PA11: Cambio en las propiedades mecánicas - Exposición de 168 horas (ASTM D543)

	Reactivo	% de cambio ZX	% de cambio XY
Tensión de rotura (MPa)	Agua destilada	0 %	0 %
	Aceite de motor (sintético)	+1 %	+2 %
	Líquido limpiaparabrisas	-4 %	-3 %
	Anticongelante	0 %	-1 %
	Grasa de silicona	-1 %	+2 %
	Grasa de petróleo	+1 %	-1 %
	Ácido de batería	-19 %	-15 %
	Gasolina	-1 %	-1 %
	Diésel	-2 %	0 %
Módulo (MPa)	Agua destilada	-7 %	-4 %
	Aceite de motor (sintético)	+2 %	+5 %
	Líquido limpiaparabrisas	-8 %	-9 %
	Anticongelante	+1 %	+1 %
	Grasa de silicona	-8 %	+4 %
	Grasa de petróleo	-3 %	-4 %
	Ácido de batería	-27 %	-29 %
	Gasolina	-12 %	-8 %
	Diésel	+1 %	+8 %
EaB (%)	Agua destilada	+5 %	-1 %
	Aceite de motor (sintético)	-9 %	-7 %
	Líquido limpiaparabrisas	-4 %	-3 %
	Anticongelante	-7 %	+12 %
	Grasa de silicona	+27 %	0 %
	Grasa de petróleo	+55 %	+13 %
	Ácido de batería	+20 %	+64 %
	Gasolina	+61 %	+52 %
	Diésel	+5 %	+11 %

Valores de referencia de High Yield PA11

Propiedad (orientación)	Valor medio
Fuerza de tensión (ZX)	47 MPa
Fuerza de tensión (XZ, YX)	51 MPa
Elongación al quiebre (ZX)	11 %
Elongación al quiebre (XZ, YX)	30 %
Módulo de tensión (ZX)	1.609 MPa
Módulo de tensión (XZ, YX)	1.529 MPa



Tablas de resultados finales

PA12: Cambio en las propiedades mecánicas - Exposición de 168 horas (ASTM D543)

	Reactivo	% de cambio ZX	% de cambio XY
Tensión de rotura (MPa)	Agua destilada	+1 %	-2 %
	Aceite de motor (sintético)	0 %	-2 %
	Líquido limpiaparabrisas	+2 %	0 %
	Anticongelante	+1 %	+1 %
	Grasa de silicona	-2 %	-3 %
	Grasa de petróleo	+1 %	-2 %
	Ácido de batería	-4 %	-6 %
	Gasolina	-7 %	-9 %
	Diésel	-2 %	-2 %
Módulo (MPa)	Agua destilada	0 %	-2 %
	Aceite de motor (sintético)	0 %	0 %
	Líquido limpiaparabrisas	-1 %	+2 %
	Anticongelante	-7 %	-3 %
	Grasa de silicona	0 %	-2 %
	Grasa de petróleo	-4 %	-5 %
	Ácido de batería	-10 %	-10 %
	Gasolina	-19 %	-17 %
	Diésel	-2 %	0 %
EaB (%)	Agua destilada	+12 %	-23 %
	Aceite de motor (sintético)	-4 %	-13 %
	Líquido limpiaparabrisas	+16 %	-23 %
	Anticongelante	+39 %	-7 %
	Grasa de silicona	+14 %	+22 %
	Grasa de petróleo	+30 %	+9 %
	Ácido de batería	-17 %	-5 %
	Gasolina	+58 %	+31 %
	Diésel	+38 %	+21 %

Valores de referencia de SAF PA12

Propiedad (orientación)	Valor medio
Fuerza de tensión (ZX)	46 MPa
Fuerza de tensión (XZ, YX)	47 MPa
Elongación al quiebre (ZX)	5 %
Elongación al quiebre (XZ, YX)	11 %
Módulo de tensión (ZX)	1.700 MPa
Módulo de tensión (XZ, YX)	1.750 MPa

Nota: Los valores de elongación bajos se deben a la rigidez del PA12. Como resultado, esta prueba es más susceptible al ruido y pueden verse grandes cambios porcentuales en este tamaño de muestra limitado.



Tablas de resultados finales

PP: Cambio en las propiedades mecánicas - Exposición de 168 horas (ASTM D543)

	Reactivo	% de cambio ZX	% de cambio XY
Tensión de rotura (MPa)	Agua destilada	+5 %	+6 %
	Aceite de motor (sintético)	-4 %	-3 %
	Líquido limpiaparabrisas	+7 %	+9 %
	Anticongelante	+7 %	+8 %
	Grasa de silicona	-7 %	-7 %
	Grasa de petróleo	-3 %	-3 %
	Ácido de batería	+5 %	+6 %
	Gasolina	-28 %	-36 %
	Diésel	-4 %	-10 %
Módulo (MPa)	Agua destilada	+6 %	+9 %
	Aceite de motor (sintético)	-12 %	-13 %
	Líquido limpiaparabrisas	+9 %	+12 %
	Anticongelante	+11 %	+14 %
	Grasa de silicona	-19 %	-25 %
	Grasa de petróleo	-11 %	+15 %
	Ácido de batería	+4 %	+4 %
	Gasolina	-77 %	-79 %
	Diésel	-12 %	-30 %
EaB (%)	Agua destilada	-8 %	-19 %
	Aceite de motor (sintético)	+31 %	+2 %
	Líquido limpiaparabrisas	-2 %	-4 %
	Anticongelante	-16 %	-33 %
	Grasa de silicona	+46 %	+63 %
	Grasa de petróleo	+27 %	+22 %
	Ácido de batería	-7 %	-25 %
	Gasolina	+292 %	+468 %
	Diésel	+16 %	+40 %

Valores de referencia de SAF PP

Propiedad (orientación)	Valor medio
Fuerza de tensión (ZX)	25,8 MPa
Fuerza de tensión (XZ, YX)	25,8 MPa
Elongación al quiebre (ZX)	10,7 %
Elongación al quiebre (XZ, YX)	22,5 %
Módulo de tensión (ZX)	1.212 MPa
Módulo de tensión (XZ, YX)	1.260 MPa



Tablas de resultados finales

PA11: Cambio en las dimensiones y el peso - Exposición de 168 horas (ASTM D453)

	Reactivo	% de cambio ZX	% de cambio XY
Diámetro	Agua destilada	0,0 %	0,0 %
	Aceite de motor (sintético)	0,0 %	0,0 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,0 %	0,0 %
	Anticongelante	0,1 %	-0,1 %
	Grasa de silicona	0,0 %	0,0 %
	Grasa de petróleo	0,0 %	0,0 %
	Ácido de batería	0,4 %	0,4 %
	Gasolina	0,1 %	0,3 %
	Diésel	0,1 %	0,0 %
Espesor	Agua destilada	0,2 %	0,7 %
	Aceite de motor (sintético)	0,0 %	-0,5 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,2 %	1,0 %
	Anticongelante	0,0 %	0,1 %
	Grasa de silicona	-0,4 %	-0,2 %
	Grasa de petróleo	0,1 %	0,3 %
	Ácido de batería	7,0 %	6,6 %
	Gasolina	0,6 %	0,5 %
	Diésel	-0,7 %	0,0 %
Peso	Agua destilada	1,0 %	0,6 %
	Aceite de motor (sintético)	1,0 %	0,4 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,3 %	0,3 %
	Anticongelante	0,9 %	0,4 %
	Grasa de silicona	1,0 %	0,6 %
	Grasa de petróleo	1,8 %	1,0 %
	Ácido de batería	13,3 %	13,0 %
	Gasolina	1,2 %	1,2 %
	Diésel	0,5 %	0,2 %
Peso (168 horas seco)	Agua destilada	0,2 %	0,2 %
	Aceite de motor (sintético)	1,0 %	0,5 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,3 %	0,4 %
	Anticongelante	0,2 %	0,2 %
	Grasa de silicona	0,2 %	0,2 %
	Grasa de petróleo	1,6 %	0,9 %
	Ácido de batería	11,5 %	10,9 %
	Gasolina	0,6 %	0,7 %
	Diésel	0,2 %	0,1 %



Tablas de resultados finales

PA12: Cambio en las dimensiones y el peso - Exposición de 168 horas (ASTM D453)

	Reactivo	% de cambio ZX	% de cambio XY
Diámetro	Agua destilada	0,1 %	0,1 %
	Aceite de motor (sintético)	0,0 %	0,0 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,0 %	0,0 %
	Anticongelante	0,0 %	0,0 %
	Grasa de silicona	0,0 %	0,0 %
	Grasa de petróleo	0,0 %	0,0 %
	Ácido de batería	0,1 %	0,1 %
	Gasolina	0,3 %	0,2 %
	Diésel	0,1 %	0,0 %
Espesor	Agua destilada	0,1 %	0,1 %
	Aceite de motor (sintético)	-0,4 %	-0,1 %
	Líquido limpiaparabrisas	-0,1 %	0,0 %
	Anticongelante	-0,4 %	0,1 %
	Grasa de silicona	0,1 %	0,2 %
	Grasa de petróleo	2,4 %	0,6 %
	Ácido de batería	1,1 %	1,3 %
	Gasolina	0,6 %	0,4 %
	Diésel	0,0 %	-0,3 %
Peso	Agua destilada	-2,1 %	-1,0 %
	Aceite de motor (sintético)	1,0 %	0,7 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,7 %	0,5 %
	Anticongelante	1,4 %	1,1 %
	Grasa de silicona	1,0 %	0,5 %
	Grasa de petróleo	1,8 %	1,2 %
	Ácido de batería	3,9 %	3,8 %
	Gasolina	1,2 %	1,2 %
	Diésel	0,7 %	0,6 %
Peso (168 horas seco)	Agua destilada	2,3 %	-2,1 %
	Aceite de motor (sintético)	1,3 %	1,0 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,4 %	0,4 %
	Anticongelante	0,2 %	1,5 %
	Grasa de silicona	0,3 %	0,6 %
	Grasa de petróleo	1,8 %	1,3 %
	Ácido de batería	3,0 %	3,2 %
	Gasolina	0,5 %	0,6 %
	Diésel	0,6 %	0,5 %



Tablas de resultados finales

PP: Cambio en las dimensiones y el peso - Exposición de 168 horas (ASTM D453)

	Reactivo	% de cambio ZX	% de cambio XY
Diámetro	Agua destilada	0,0 %	0,0 %
	Aceite de motor (sintético)	0,0 %	0,0 %
	Líquido limpiaparabrisas	-0,6 %	0,0 %
	Anticongelante	-0,1 %	-0,1 %
	Grasa de silicona	0,3 %	0,4 %
	Grasa de petróleo	0,1 %	0,1 %
	Ácido de batería	0,0 %	-0,1 %
	Gasolina	5,0 %	4,4 %
	Diésel	0,3 %	0,3 %
Espesor	Agua destilada	0,6 %	0,0 %
	Aceite de motor (sintético)	0,0 %	-0,3 %
	Líquido limpiaparabrisas	-0,1 %	-0,3 %
	Anticongelante	-0,1 %	-0,3 %
	Grasa de silicona	1,3 %	1,4 %
	Grasa de petróleo	0,4 %	0,5 %
	Ácido de batería	-0,2 %	-0,1 %
	Gasolina	4,1 %	5,5 %
	Diésel	1,1 %	0,2 %
Peso	Agua destilada	0,2 %	0,1 %
	Aceite de motor (sintético)	1,1 %	0,9 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,2 %	0,2 %
	Anticongelante	0,3 %	0,1 %
	Grasa de silicona	2,3 %	2,8 %
	Grasa de petróleo	2,6 %	1,9 %
	Ácido de batería	0,5 %	0,3 %
	Gasolina	15 %	15 %
	Diésel	1,4 %	1,3 %
Peso (168 horas seco)	Agua destilada	0,0 %	0,0 %
	Aceite de motor (sintético)	1,0 %	0,9 %
	Líquido limpiaparabrisas	0,0 %	0,0 %
	Anticongelante	0,6 %	0,0 %
	Grasa de silicona	0,8 %	1,0 %
	Grasa de petróleo	2,04 %	1,6 %
	Ácido de batería	0,0 %	0,0 %
	Gasolina	3,7 %	3,6 %
	Diésel	0,7 %	0,7 %

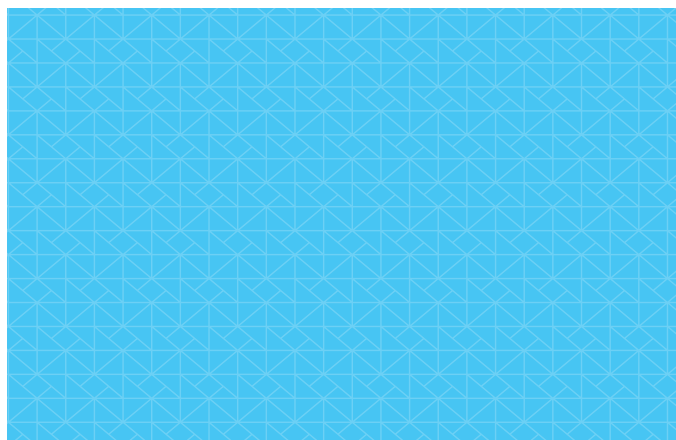


Conclusiones del PA11

Reactivo	Estabilidad de peso y dimensiones	Estabilidad mecánica
Agua destilada	Excelente	Excelente
Aceite de motor sintético	Excelente	Excelente
Líquido limpiaparabrisas	Excelente	Excelente
Anticongelante	Excelente	Excelente
Grasa de silicona	Excelente	Excelente
Grasa de petróleo	Excelente	Excelente
Ácido de batería	Resistencia química limitada	Resistencia química limitada
Gasolina	Excelente	Excelente
Diésel	Excelente	Excelente

El material High Yield PA11 demostró excelentes propiedades de resistencia química a siete de los nueve reactivos probados. Se observó que los efectos del agua destilada, el aceite de motor sintético, el líquido limpiaparabrisas, el refrigerante anticongelante, la grasa de silicona, la grasa de petróleo y el diésel en el material fueron insignificantes. El ácido de la batería causó reducciones de la resistencia mecánica, en promedio, de -17 %, con un aumento posterior en la elasticidad debido al ablandamiento del material. La inmersión en gasolina también parece dar lugar a un efecto plastificante.

Si bien los cambios dimensionales en todos los agentes fueron insignificantes, se observó un aumento notable de peso del PA11 cuando se sumergió en ácido de batería. También se observó un cambio permanente en la coloración de gris claro a azul oscuro (Figura 7), la única prueba en que experimentó tal cambio.





Conclusiones del PA12

Reactivo	Estabilidad de peso y dimensiones	Estabilidad mecánica
Agua destilada	Excelente	Excelente
Aceite de motor sintético	Excelente	Excelente
Líquido limpiaparabrisas	Excelente	Excelente
Anticongelante	Excelente	Excelente
Grasa de silicona	Excelente	Excelente
Grasa de petróleo	Excelente	Excelente
Ácido de batería	Buena resistencia química	Buena resistencia química
Gasolina	Excelente	Buena resistencia química
Diésel	Excelente	Excelente

El material SAF PA12 mostró excelentes propiedades de resistencia química a siete de los nueve reactivos. Se observó que los efectos del agua destilada, el aceite de motor sintético, el líquido limpiaparabrisas, el refrigerante anticongelante, la grasa de silicona, la grasa de petróleo y el diésel en el material fueron insignificantes.

El PA12 solo experimentó una leve reducción en la resistencia de la pieza junto con una ligera disminución en la elasticidad cuando se expuso al ácido de batería. Con la inmersión en gasolina, también mostró una leve reducción similar en las propiedades mecánicas.

Todos los cambios dimensionales fueron insignificantes durante esta prueba. Este material también mostró un aumento mínimo de peso cuando se expuso al ácido de la batería, con un mejor rendimiento que el PA11 en este sentido.



Conclusiones del PP

Reactivo	Estabilidad de peso y dimensiones	Estabilidad mecánica
Agua destilada	Excelente	Excelente
Aceite de motor sintético	Excelente	Excelente
Líquido limpiaparabrisas	Excelente	Excelente
Anticongelante	Excelente	Excelente
Grasa de silicona	Buena resistencia química	Buena resistencia química
Grasa de petróleo	Excelente	Excelente
Ácido de batería	Excelente	Excelente
Gasolina	Resistencia química limitada	Resistencia química limitada
Diésel	Excelente	Excelente

El material SAF PP demostró excelentes propiedades de resistencia química a siete de los nueve reactivos. Se observó que los efectos del agua destilada, el aceite de motor, el líquido limpiaparabrisas, el anticongelante, la grasa de petróleo, el ácido de batería y el diésel en el material fueron insignificantes. Tal como se había predicho, la gasolina degradó significativamente las propiedades mecánicas de este material. Los resultados sugieren un fuerte efecto plastificante.

El material demostró un comportamiento excepcional ante la exposición al ácido de batería (sulfúrico concentrado), lo que confirma que, actualmente, es el material SAF más adecuado para aplicaciones ácidas.



[stratasys.com](https://www.stratasys.com)
Certificado ISO
9001:2015

Sede central de Stratasys
7665 Commerce Way,
Eden Prairie, MN 55344
+1 800 801 6491 (Llamada gratuita en EE. UU.)
+1 952 937-3000 (Internacional)
+1 952 937-0070 (Fax)

1 Holtzman St., Science Park,
PO Box 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745 4000
+972 74 745 5000 (Fax)