



Más allá de la hoja de datos: Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Resumen

Este artículo técnico fue motivado por las afirmaciones que abogaban que los competidores de FFF (fabricación de filamentos fundidos) tienen propiedades del material superiores a pesar de las pruebas internas de Stratasys que demostraron lo contrario. Esta incongruencia entre las especificaciones publicadas y demostradas se debe a las diferencias en las trayectorias de las herramientas y la orientación de construcción de las muestras de prueba mecánicas entre los métodos de prueba de Stratasys y los de la competencia. Al hacer un cambio de las trayectorias de herramienta estándar utilizadas por Stratasys a las trayectorias de herramienta unidireccionales optimizadas que utiliza la competencia, Stratasys FDM® Nylon-CF10 mostró un aumento del 160 % en la temperatura de desviación del calor (HDT), un aumento del 152 % en el módulo de tensión y un aumento del 94 % en el límite elástico a la tensión con respecto a nuestras especificaciones publicadas. La impresión de muestras mecánicas con trayectorias de herramienta unidireccionales es apropiada para mostrar la resistencia máxima de un material relleno de fibra de carbono, pero no es representativa de la resistencia del material dentro de la pieza FFF típica.

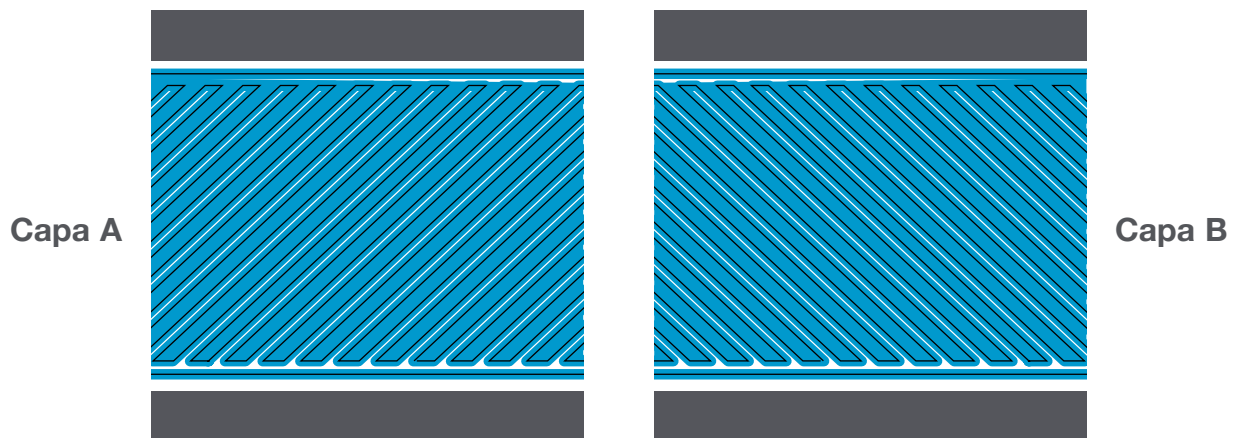
Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Introducción

En Stratasys, las propiedades mecánicas se prueban de manera transparente y coherente ([consulte el Procedimiento de prueba de materiales de Stratasys para conocer los procedimientos de prueba estándar para FDM](#)). Las trayectorias de herramienta siguen nuestra generación de trayectoria de herramienta predeterminada, donde las capas están en una orientación de "45°/-45°" entre sí. Esto significa que la primera capa ráster es de 45° en el plano **XY** y la siguiente capa es perpendicular a esa capa (-45°). Para una geometría rectangular simple, esto sería alternar entre la Capa A y la Capa B en la **Figura 1**. La prueba de propiedades mecánicas con rásteres de 45°/-45° produce más rendimiento isotrópico en el plano **XY** y representa las trayectorias de herramienta utilizadas en piezas grandes, como las que se usan en la fabricación.

Trayectorias de herramientas de pruebas mecánicas de Stratasys



Trayectorias de herramientas de prueba mecánica de la competencia

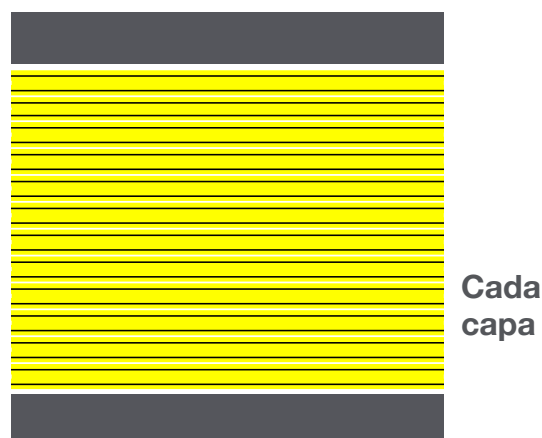


Figura 1: diferencia entre las trayectorias de herramientas de prueba mecánica de Stratasys y las de la competencia. Stratasys tiene rásteres en un ángulo de 45° con un desplazamiento perpendicular entre capas. Los competidores tienen trayectorias de herramientas unidireccionales que son las mismas en todas las capas.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Cuando se construyen piezas FDM de Stratasys, se agregan capas una a la vez, lo que da como resultado una unión entre capas reducida y menor resistencia en la dirección vertical (**Z**) en comparación con el plano **XY**. Cuando se imprime un material relleno, como Nylon-CF10 o ABS-CF10, esto se acentúa a medida que la fibra de carbono se alinea en las trayectorias de la herramienta y aumenta la resistencia dentro del plano **XY**. Stratasys prueba las propiedades mecánicas en las orientaciones en el eje horizontal (**XZ**) y el eje vertical (**ZX**) (consulte la **Figura 2**). Al presentar los datos verticales (**ZX**), se presenta la condición más débil para que las piezas puedan diseñarse con conocimiento del peor rendimiento mecánico posible para permitir un amplio margen de seguridad.

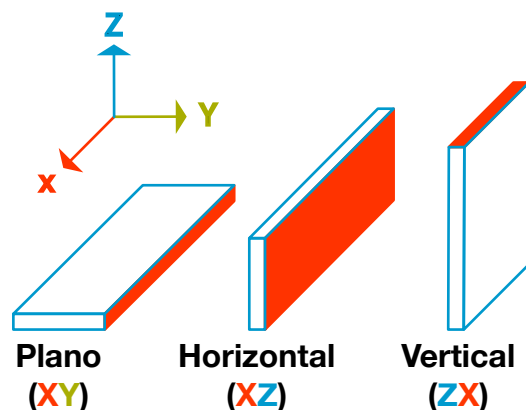
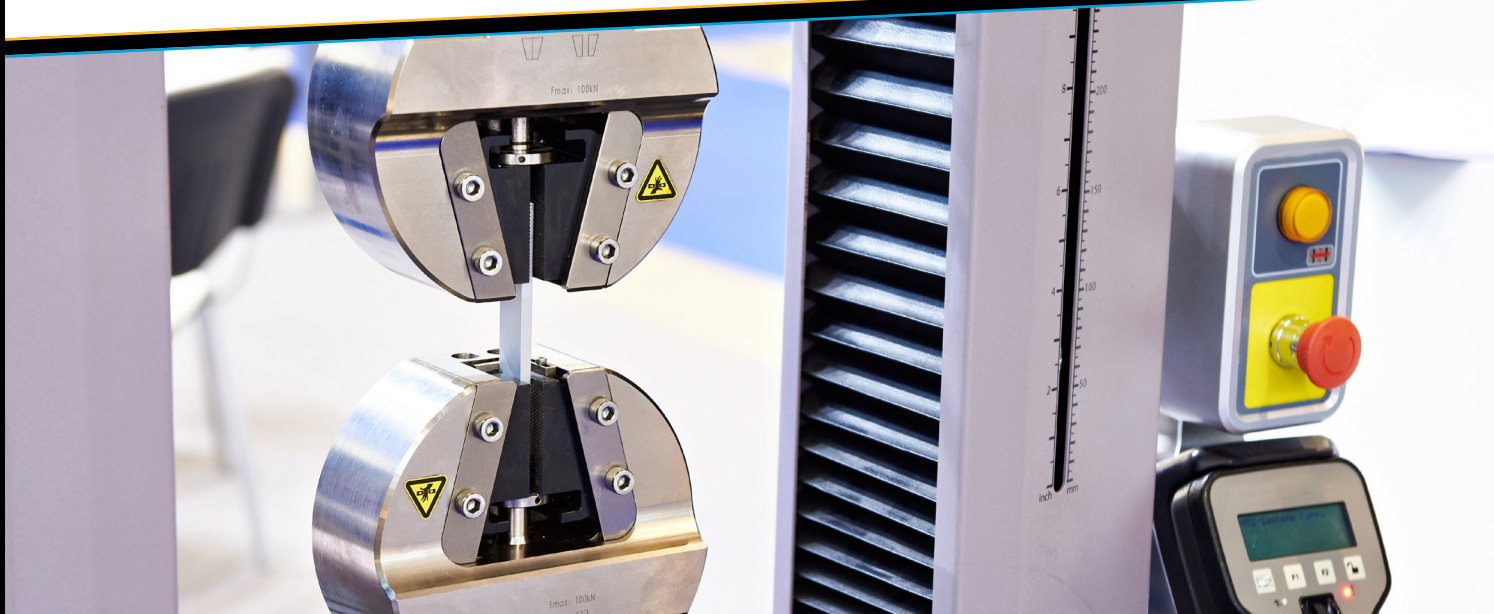


Figura 2: orientaciones de impresión.

Los fabricantes competidores de FFF tienden a seleccionar y presentar propiedades mecánicas y físicas de trayectorias de herramientas optimizadas para la configuración de prueba. Por ejemplo, un competidor que brinda datos solo para la orientación plana (**XY**) con trayectorias de herramienta unidireccionales como las que se muestran en la **Figura 1**. Con un material relleno, las fibras de carbono alineadas ayudan a aumentar la resistencia dentro del plano de construcción **XY**. Este método de optimización de trayectorias de herramienta es apropiado para mostrar la resistencia máxima para materiales rellenos, pero debe usarse con precaución, ya que no es representativo de las trayectorias de herramienta y resistencia típicas de la pieza.

Para mostrar el rendimiento mejorado con trayectorias de herramienta unidireccionales, Stratasys imprimió muestras de temperatura de desviación del calor (HDT), flexión, tensión y muescas en ABS-CF10 y Nylon-CF10. Este documento técnico mostrará los procedimientos y el rendimiento mejorado de los materiales cuando se utilizan trayectorias de herramienta unidireccionales.



Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Procedimiento de prueba

El software Insight™ se utilizó para preparar archivos de compilación con una trayectoria de herramienta unidireccional para muestras de prueba de HDT, tensión, flexión e impacto. Se prepararon muestras para materiales ABS-CF10 y Nylon-CF10. Los detalles específicos sobre los parámetros de procesamiento y los métodos de prueba se pueden encontrar en las subsecciones que aparecen a continuación. A menos que se especifique, se siguieron los parámetros y estándares de procesamiento predeterminados. Las muestras comparativas en estos materiales con rásteres estándar de 45°/-45° siguieron el [Procedimiento de prueba de materiales](#) para el procesamiento de archivos.

Todos los paquetes de compilación se crearon con el software Control Center™ siguiendo el procedimiento de prueba de materiales de StratasyS. Las muestras de ABS-CF10 se crearon en una F370® y las muestras de Nylon-CF10 se crearon en una CR F370®. Para cada tipo de material, todo el material era del mismo lote. Se utilizó QSR Support™ con ambos materiales de modelo. Las muestras de Nylon-CF10 se colocaron en tanque durante 4 a 6 horas para eliminar el soporte QSR. El material de soporte se retiró manualmente de la muestra ABS-CF10.

Para las muestras de tensión, flexión e impacto, se probaron 10 muestras para cada material y tipo de trayectoria de herramienta. Para HDT, se realizaron pruebas por triplicado para cada material y presión [0,45 MPa y 1,8 MPa (66 y 264 psi)]. Los detalles de las pruebas físicas y mecánicas para este estudio se enumeran a continuación.

Consulte el Apéndice A para obtener una lista completa de las versiones de software y el equipo de prueba.

Prueba de temperatura de desviación del calor

Las muestras de prueba de HDT fueron muestras de 127 mm x 12,7 mm x 5,1 mm (5 pulgadas x 0,5 pulgadas x 0,2 pulgadas), impresas en la orientación plana (XY) con trayectorias de herramienta unidireccionales. Para hacer esto, las muestras se produjeron como un "circuito" de contornos continuos al unir dos muestras de gran tamaño con extremos redondeados como se muestra en la [Figura 3](#). Los extremos semicirculares se cortaron a medida y se eliminaron los extremos semicirculares donde se indica en la [Figura 3](#).

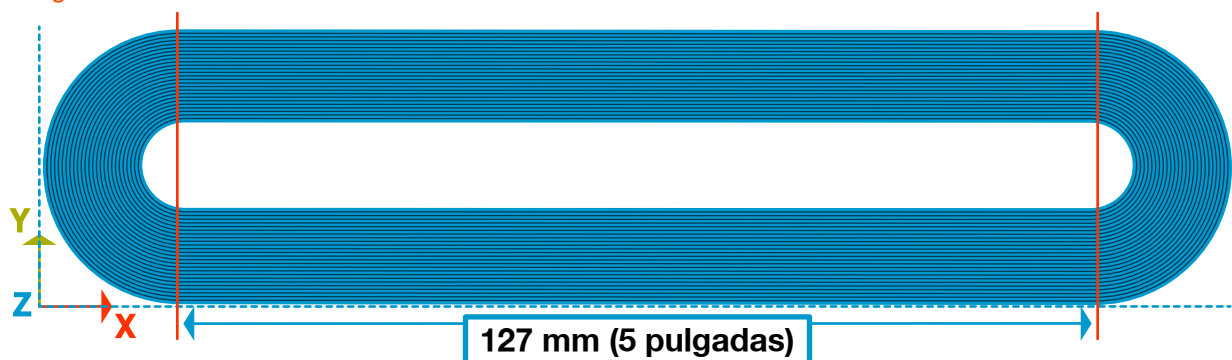


Figura 3: circuito con dos muestras de HDT conectadas para permitir contornos continuos. Los semicírculos se cortaron para dejar solo la muestra de HDT.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Durante el procesamiento en Insight, los parámetros de trayectoria de herramienta se modificaron para especificar 15 contornos y un ancho de contorno de 0,0210 pulgadas para Nylon-CF10 y 0,0208 pulgadas para ABS-CF10. Con el ancho de contorno predeterminado de 0,02 pulgadas, apareció un pequeño ráster en el centro de la muestra (consulte la [Figura 4](#)). Visualmente, hay un pequeño espacio en las trayectorias de herramienta de la muestra ABS-CF10 en Insight, pero cuando se imprimió, la muestra presentaba sobrellenado en la superficie superior, hasta que el ancho del contorno se redujo a 0,0208 pulgadas. Un ejemplo de la configuración de Insight para las muestras de HDT aparece en la [Figura 5](#).

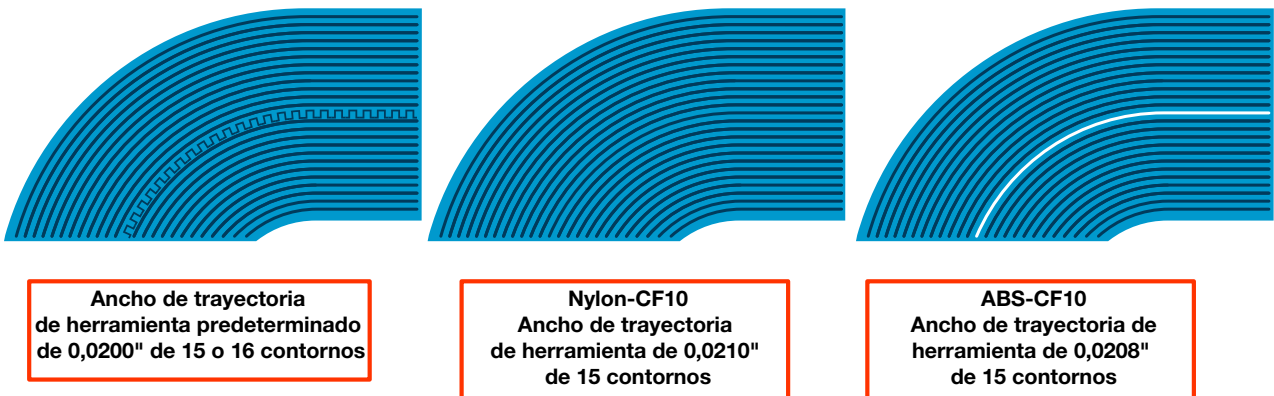
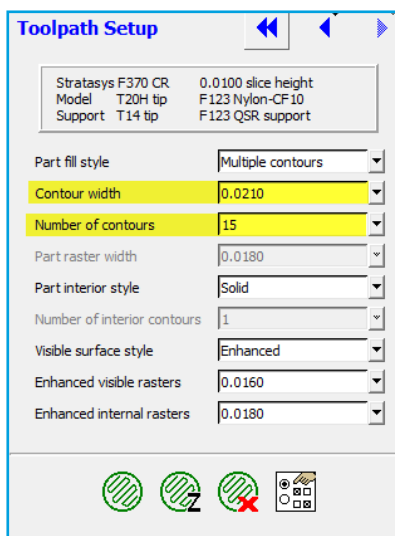


Figura 4: ejemplo de contornos en el circuito HDT. Con el ancho de contorno predeterminado, había un pequeño patrón ráster en el centro de la muestra. Para ABS-CF10 y Nylon-CF10, el ancho del contorno se amplió en 0,0008-0,0010" para trayectorias de herramienta completamente unidireccionales.



Las muestras unidireccionales de HDT se analizaron a 0,45 y 1,8 MPa (66 y 264 psi). Se analizaron tres muestras por material, por presión, siguiendo el procedimiento B de ASTM D648 con una longitud de lapso de cerca de 51 mm (cerca de 2 pulgadas). Todas las muestras de HDT se acondicionaron durante un mínimo de 16 horas a $70 \pm 0,5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($158 \text{ }^\circ\text{F} \pm 0,9 \text{ }^\circ\text{F}$) en un horno al vacío a menos de 100 mbar antes de la prueba.

Figura 5: ejemplo de parámetros de trayectoria de herramienta modificados para HDT. Los parámetros modificados se resaltan en amarillo.

Más allá de la hoja de datos:

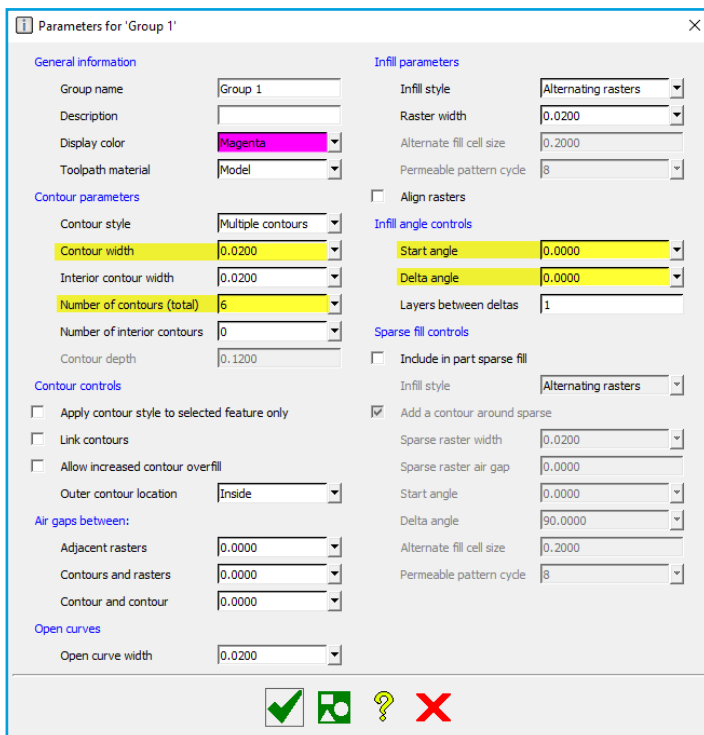
Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Fuerza de tensión

Se realizaron pruebas mecánicas de tensión en muestras ASTM D638 Tipo I, espesor = 3,3 mm (0,130 pulgadas). Para crear las trayectorias de herramienta unidireccionales, todas las curvas de la muestra de tensión se agregaron a un grupo personalizado en Insight. El grupo personalizado era necesario para poder aplicar un ángulo delta de 0° para evitar que la sección ráster del cupón fuera perpendicular en capas alternas. Dentro del grupo personalizado, las trayectorias de herramienta modificadas utilizaron seis contornos y los controles de ángulo de relleno establecidos con un ángulo de inicio de 0° y un ángulo delta de 0°. Para Nylon-CF10, el ancho de contorno era el predeterminado de 0,02 in. Para ABS-CF10, el ancho del contorno fue de 0,0198 in., ya que la apariencia de la pieza se rellenó en exceso al valor predeterminado de 0,02 in. La **Figura 6** muestra las trayectorias de herramienta de los cupones de tensión con las trayectorias de herramienta unidireccionales en su lugar para la región reducida. La **Figura 7** muestra los parámetros de trayectoria de herramienta que se modificaron dentro del grupo personalizado aplicado para la pieza.



Figura 6: trayectorias de herramienta del cupón de tensión D638 con trayectorias de herramienta unidireccionales dentro de la región reducida.



Las pruebas mecánicas de tensión se realizaron según ASTM D638 con una velocidad de cabezal de 0,2 in/min. El módulo de tensión se calcula sobre los valores de tensión-deformación del 15 % al 35 % de la carga máxima. Todas las muestras se acondicionaron durante un mínimo de 40 horas a 23 ± 2 °C (73 °F $\pm 3,6$ °F) y 50 ± 10 % HR antes de la prueba.

Figura 7: ejemplo de los grupos personalizados para cupones de tensión unidireccionales. Los parámetros modificados se resaltan en amarillo para Nylon-CF10.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Fuerza de flexión

Se realizaron pruebas mecánicas de flexión a las muestras ASTM D790, 10,2 mm x 6,1 mm x 152,4 mm (0,4 pulgadas x 0,24 pulgadas x 6 pulgadas). Al igual que las muestras de HDT, los cupones de resistencia a la flexión se crearon a partir de un "circuito" con solo contornos; los extremos se cortaron posteriormente (consulte la [Figura 8](#)). Con el objetivo de crear cupones completamente llenos, se hicieron ajustes menores en el ancho del contorno para llenar el cupón y luego se redujeron si el cupón se llenó en exceso cuando se imprimió. Para los parámetros de trayectoria de herramienta modificados en Insight, los contornos se establecieron en 10 y el ancho de contorno fue de 0,0201 pulgadas para Nylon-CF10 y 0,02005 in. para ABS-CF10.

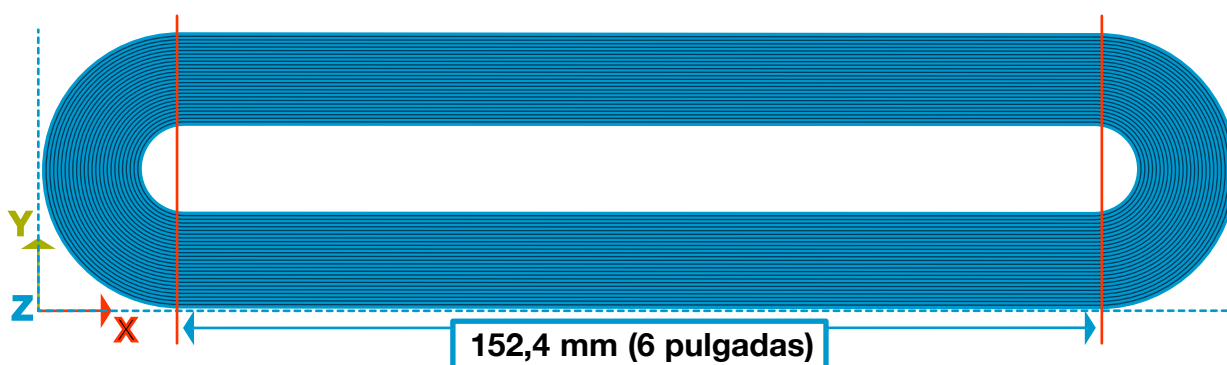


Figura 8: circuito con dos muestras de flexión conectadas para permitir contornos continuos. Los semicírculos se cortaron para dejar solo la muestra de flexión.

Las pruebas mecánicas de flexión se realizaron a muestras ASTM D790 utilizando el Procedimiento A con una longitud de lapso de aprox. 2 pulgadas y una tasa de deformación de 0,01 in/in/min. Todas las muestras se acondicionaron durante un mínimo de 40 horas a 23 ± 2 °C (73 °F $\pm 3,6$ °F) y 50 ± 10 % HR antes de la prueba.

Impacto Izod (con muesca)

Las muestras de impacto Izod se realizaron en muestras ASTM D256, espesor = 3,175 mm (0,125 pulgadas). Las trayectorias de herramienta se crearon de forma similar a la muestra de tensión con un grupo personalizado para que el ángulo delta del ráster se pudiera establecer en 0°. El grupo personalizado se estableció con un solo contorno, relleno sólido, un ángulo de inicio de control de ángulo de relleno de 0° y un ángulo delta de 0°, y anchos de contorno y ráster predeterminados. Esto dio como resultado un relleno de cupón como el de la [Figura 9](#) en cada capa.

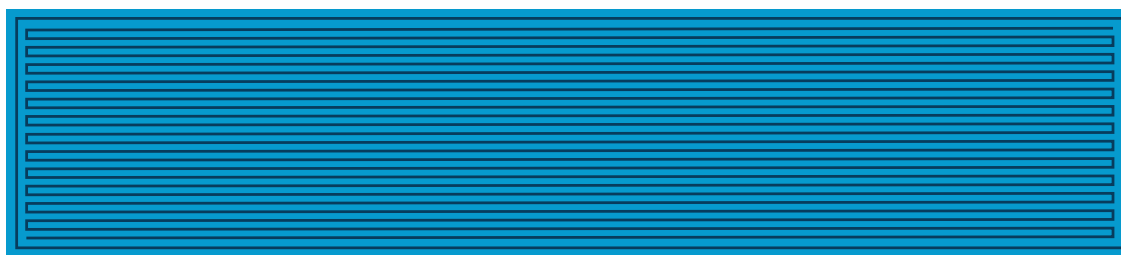


Figura 9: trazos de herramienta de la muestra de impacto unidireccional Izod.

Las pruebas con muescas Izod se realizaron según ASTM D256 con una capacidad de péndulo de 2 o 16,1 pies * libras utilizando el Método A. La muesca se creó después de imprimir según ASTM D256. Todas las muestras se acondicionaron durante un mínimo de 40 horas a 23 ± 2 °C (73 °F $\pm 3,6$ °F) y 50 ± 10 % HR antes de la prueba.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Resultados y análisis

En la observación de los resultados de las pruebas unidireccionales, se incluyen los datos existentes de las hojas de datos de materiales u otros conjuntos de datos que se probaron según el Procedimiento de prueba de materiales de StratasyS para mostrar comparaciones con el rendimiento mecánico. Los datos sin procesar para los datos unidireccionales estarán disponibles previa solicitud. Las tablas con las unidades imperiales se pueden encontrar en el [Apéndice B](#).

Pruebas HDT

El HDT es la temperatura a la que un material comienza a ablandarse o deformarse bajo carga, lo que indica su resistencia al calor. Ayuda a determinar la temperatura máxima que un material puede soportar sin deformaciones o fallas significativas.

Los datos de HDT para ABS-CF y Nylon-CF se muestran en la [Tabla 1](#). Las trayectorias de herramienta unidireccionales en ABS-CF10 muestran aumentos incrementales sobre las trayectorias de herramienta estándar de 45°/-45° a ambas presiones. Nylon-CF10 muestra aumentos significativos de alrededor del 160 % entre las trayectorias de herramienta unidireccionales y estándar. También cabe mencionar que las trayectorias de herramienta unidireccionales son más altas que los datos HDT moldeados. Al alinear las fibras de carbono a lo largo de las trayectorias de las herramientas, en lugar de cómo se dispersan más aleatoriamente durante el proceso de moldeo por inyección, se logra un aumento del 13 % al 40 % en el HDT.

	HDT (°C)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Bajo (0,45 MPa)	Alto (1,8 MPa)	Bajo (0,45 MPa)	Alto (1,8 MPa)
Trayectorias de herramienta unidireccionales (orientación XY)	117	112	153	133
Trayectorias de herramienta estándar 45/-45 (orientación XY)	112	111	58	52
Según moldeo	100	99	109	105

Tabla 1 - HDT de ABS-CF10 y Nylon-CF10

Fuerza de tensión

La prueba de tensión evalúa la resistencia, ductilidad y alargamiento de un material tirando de los extremos de la muestra hasta que se rompa. Los datos de tensión para las trayectorias de herramienta unidireccionales se encuentran en la [Tabla 2](#), así como los datos de tensión para los cupones **XY** con trayectorias de herramienta normales de 45°/-45° de las mismas máquinas y lotes de materiales que las unidireccionales. Para ambos materiales, hay un aumento en el módulo de tensión, el límite elástico y la tensión en la rotura, así como una disminución en los valores de alargamiento con las trayectorias de herramienta unidireccionales. Esto tiene sentido porque las fibras de carbono alineadas en el eje bajo tensión ayudan a mejorar la resistencia, pero disminuyen la capacidad del material de la matriz para alargarse en el eje de tensión.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Para ABS-CF10, las trayectorias de herramienta unidireccionales causan un aumento del 25 % en el límite elástico y la tensión en la rotura y un aumento del 71 % en el módulo elástico sobre las trayectorias de herramienta estándar. Con Nylon-CF10, el módulo elástico aumenta en un 152 % y el límite elástico en un 94 % con las trayectorias de herramienta unidireccionales.

Además, los datos de tensión son relativamente ajustados, como se ilustra en la **Figura 10**: el límite elástico a la tensión aumenta mediante el uso de trayectorias de herramienta unidireccionales. El coeficiente de variación (COV), que se define como la desviación estándar dividida por la media, es inferior al 4 % para todo el módulo de tensión y el límite elástico para los datos de tensión **XY**.

Para ABS-CF10, las trayectorias de herramienta unidireccionales causan un aumento del 25 % en el límite elástico y la tensión en la rotura y un aumento del 71 % en el módulo elástico sobre las trayectorias de herramienta estándar. Con Nylon-CF10, el módulo elástico aumenta en un 152 % y el límite elástico en un 94 % con las trayectorias de herramienta unidireccionales.

Rutas de herramientas	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidireccional	Estándar 45/-45	Unidireccional	Estándar 45/-45
Módulo de elasticidad (GPa)	5,22	3,04	6,03	2,39
Fuerza de tensión (MPa)	44,9	35,8	68,1	35,1
Alargamiento en tensión (%)	1,2	3,0	4,0	5,6
Tensión en la rotura (MPa)	44,6	35,6	64,4	20,0
Elongación a la rotura (%)	1,2	3,0	5,1	8,2

Tabla 2 - Datos de tensión de ABS-CF10 y Nylon-CF10 en la orientación XY

Límite elástico a la tensión afectado por las trayectorias de herramienta

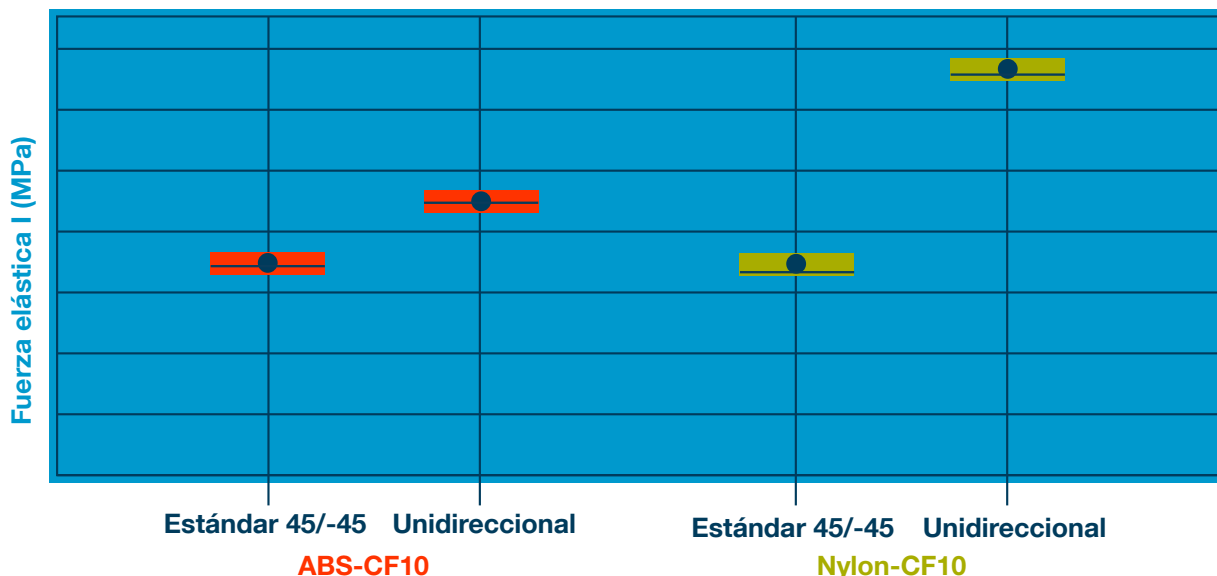


Figura 10: el límite elástico a la tensión se incrementa mediante el uso de trayectorias de herramienta unidireccionales.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Fuerza de flexión

La prueba de resistencia a la flexión evalúa la capacidad de un material para resistir la flexión o la deformación bajo una configuración de carga de tres puntos. Indica la resistencia del material a la rotura o agrietamiento cuando se somete a fuerzas de flexión, proporcionando información sobre su integridad estructural y su capacidad para soportar cargas en aplicaciones del mundo real. Los datos de resistencia a la flexión unidireccional se muestran en la **Tabla 3** con la resistencia a la flexión que se muestra en la **Figura 11**. Los datos de las 10 muestras son muy repetibles con un COV inferior al 4 % para el módulo de flexión y una resistencia a la flexión para cada material.

Resistencia a la flexión de la muestra XY con trayectorias de herramienta unidireccionales Nylon-CF10		
	ABS-CF10	Nylon-CF10
Módulo de elasticidad (GPa)	4,96	6,96
Tensión a la flexión a la rotura (%)	2,6	3,4
Tensión de flexión a la rotura (MPa)	89,3	138,2

Tabla 3 - Resistencia a la flexión del ABS-CF10 y el nylon-CF10 en la orientación XY con trayectorias de herramienta unidireccionales

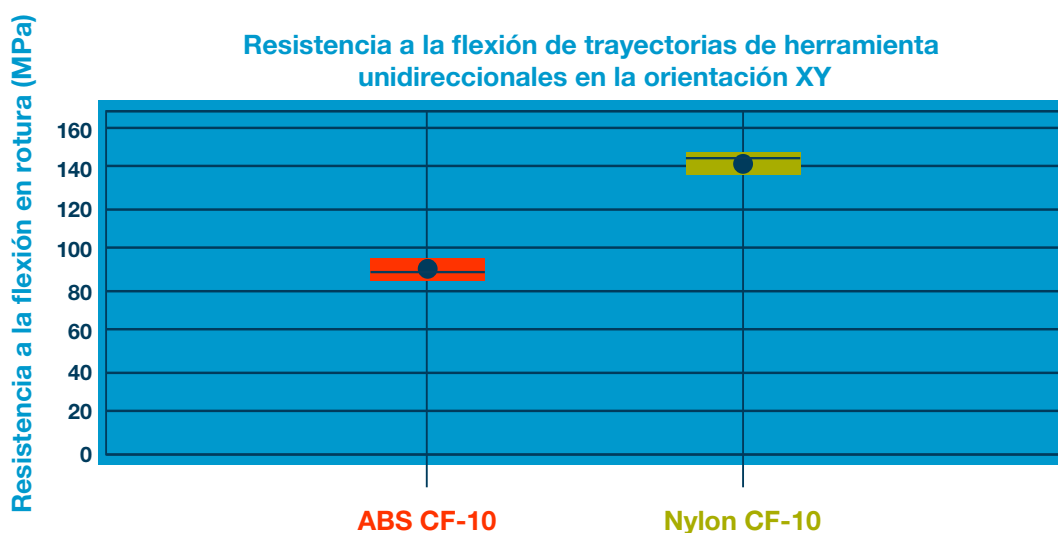


Figura 11: tensión de flexión en la rotura de trayectorias de herramienta unidireccionales en la orientación XY.

Más allá de la hoja de datos: Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Impacto Izod (con muesca)

La prueba Izod con muescas es un método utilizado para evaluar la resistencia al impacto de un material midiendo la energía requerida para romper una muestra con muescas sometida a un impacto de péndulo. Indica la capacidad del material para soportar impactos repentinos o cargas de choque y proporciona información sobre su dureza y resistencia a la fractura. Esta prueba es valiosa en la selección de materiales para aplicaciones donde el impacto o la carga dinámica son una preocupación, lo que ayuda a garantizar que el material elegido pueda soportar posibles impactos sin fallas catastróficas.

La [Tabla 4](#) contiene los datos de impacto para ABS-CF10 y Nylon-CF10. Los datos de las trayectorias de herramienta estándar son los datos de la hoja de datos de materiales. Al imprimir trayectorias de herramienta unidireccionales en la orientación plana, hay un aumento del 54 % y un aumento del 26 % en la mayor resistencia al impacto reportada de ABS-CF10 y Nylon-CF10, respectivamente. Para FDM, la unión entre capas reducida hace que la dirección vertical (**Z**) sea más débil que el plano **XY** (plano). Si Stratasys se limitara a informar los datos unidireccionales, la resistencia al impacto de Nylon-CF10 sería 7,5 veces mayor que la orientación vertical (**XZ**) y la resistencia al impacto de ABS-CF10 sería 3,9 veces mayor. Esto representaría de forma incorrecta la resistencia real del material en una pieza real donde la carga dinámica es la preocupación. Al diseñar piezas, también se debe tener en cuenta la resistencia del material de la orientación **Z** para garantizar los límites de diseño adecuados y los factores de seguridad.

La impresión de trayectorias de herramienta unidireccionales en la orientación plana da como resultado un aumento del 54 % en la resistencia al impacto de ABS-CF10 y un aumento del 26 % en la resistencia al impacto de Nylon-CF10, pero esto tergiversaría la resistencia real del material en piezas reales, donde la resistencia vertical es crucial.

Las consideraciones de diseño adecuadas deben tener en cuenta la resistencia direccional X, Y y Z para mayor seguridad y funcionalidad.

Resistencia al impacto Izod de ABS-CF10 y Nylon-CF10 (J/m)			
Orientación de impresión	Rutas de herramientas	ABS-CF10	Nylon-CF10
Plano (XY)	Unidireccional	79,2	272
OnEdge (XZ)	Estándar 45°/-45°	51,4	202
Vertical (ZX)	Estándar 45°/-45°	20,3	36,3

Tabla 4 - Datos de resistencia al impacto de Izod

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Comparación con el competidor más cercano

Este documento técnico fue creado como respuesta a las afirmaciones de los competidores de tener propiedades del material superiores. Al probar nuestros materiales con trayectorias de herramienta unidireccionales, podemos ver una imagen más clara con una comparación más apropiada. Para ilustrar esto, la [Tabla 5](#) resume los datos mecánicos unidireccionales para ABS-CF10 y Nylon-CF10 justo al lado de los datos mecánicos informados de un competidor. Los datos de material de la competencia provienen directamente de la última hoja de datos de materiales de la competencia (con fecha de principios de 2022), a menos que se indique lo contrario.

Al mirar la [Tabla 5](#), uno debe tener en cuenta la amplitud de los datos que se están representando. Para los materiales de la competencia, cada punto de datos representa pruebas triplicadas, así que son solo 3 muestras. Para ABS-CF10 y Nylon CF10, la prueba HDT representa 3 muestras, pero las propiedades de tensión, flexión e impacto del material contienen datos de 10 muestras. Para las pruebas mecánicas típicas en hojas de datos de materiales FDM de Stratasys, los datos representados son 30 muestras como mínimo (3 máquinas por 10 cupones). Por lo tanto, los materiales de Stratasys están representados por tres veces más datos, pero nuestras hojas de datos de materiales típicas contienen diez veces más datos en relación con este competidor.

Para los resultados de las pruebas de tensión, los materiales de Stratasys tienen un módulo de tensión y fuerza de tensión más altos, mientras que los materiales de la competencia tienen un mayor alargamiento a la rotura. Esta es la compensación; al aumentar la resistencia del material y la capacidad de soportar la deformación a una fuerza dada, la cantidad de ceder o la capacidad de alargarse disminuye. El módulo de tensión de ABS-CF10 y Nylon-CF10 es aproximadamente el doble que el de los materiales de la competencia, lo que indica que los materiales de Stratasys son más rígidos y capaces de soportar mayores fuerzas con menos deformación.

Para los resultados de la prueba de flexión, ABS-CF10 y Nylon-CF10 tienen mayor módulo de flexión y tensión en la rotura que los materiales de la competencia. Esto indica que estos materiales son más capaces de soportar la carga de flexión de 3 puntos con menos deformación para una carga dada. Las fibras de carbono de ABS-CF10 y Nylon-CF10 son más largas que las de los materiales de la competencia, lo que ayudaría en su capacidad para resistir la flexión bajo una carga dada.

Para HDT a 0,45 MPa, la hoja de datos del material de la competencia informa de 145 °C, que es menor que la del Nylon-CF10 (153 °C) y mayor que la del ABS-CF10 (117 °C). El competidor no proporciona ningún dato de rendimiento para HDT a 1,8 MPa, pero Stratasys ha probado ser el único material a la presión más alta para HDT. Para ese material, el HDT a 1,8 MPa fue de 71 °C, que es una disminución del 51 % en la temperatura del HDT de la presión más baja para ese material. Para ABS-CF10 y Nylon-CF10 solo hay una disminución del 4 % y 13 % en la temperatura HDT con la presión más alta.

Para la resistencia al impacto, el material de la competencia es más alto que ABS-CF10 y Nylon-CF10. Al utilizar la misma metodología de prueba, los valores son más apropiados para la comparación con el material de la competencia.

Este documento técnico fue creado como respuesta a las afirmaciones de los competidores de tener propiedades del material superiores. Al probar nuestros materiales con trayectorias de herramienta unidireccionales, podemos ver una imagen más clara con una comparación más apropiada.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Comparación de propiedades mecánicas y físicas entre los materiales de Stratasys y los materiales de la competencia

	Propiedad del material	ABS-CF10	Nylon-CF10	Material de la competencia 1	Material de la competencia 2
Tensión ²	Módulo de elasticidad (GPa) ¹	5,22	6,03	2,4	3,0
	Fuerza de tensión (MPa)	44,9	68,1	40	41
	Alargamiento en tensión (%)	1,2	4,0	no reportado	no reportado
	Tensión en la rotura (MPa)	44,6	64,4	37	40
	Elongación a la rotura (%)	1,2	5,1	25	18
Flexión	Módulo de elasticidad (GPa)	4,96	6,96	3,0	3,6
	Resistencia a la flexión en rotura (%)	2,6	3,4	no reportado	no reportado
	Tensión de flexión a la rotura (MPa)	89,3	138	71	71
HDT	Temperatura de desviación del calor - 0,45 MPa (°C)	117	153	145	145
	Temperatura de desviación del calor - 1,8 MPa (°C)	112	133	105 (pruebas de laboratorio de Stratasys ³)	no reportado
Impacto	Impacto Izod - con muescas (J/m)	79,2	272	330	no reportado

Tabla 5 - Comparación de propiedades mecánicas y físicas entre los materiales de Stratasys y los materiales de la competencia

Notas:

1. El módulo de tensión para ABS-CF10 y Nylon-CF10 se calcula sobre los valores de tensión-deformación del 15 % al 35 % de la carga máxima. El rango para el cálculo del módulo de tensión no se conoce para el material de la competencia.
2. Las muestras de ABS-CF10 y Nylon-CF10 se imprimieron para dar forma con trayectorias de herramienta unidireccionales. Los cupones de tensión del material de la competencia se cortaron para darle forma.
3. El competidor no informa la mayor presión de las pruebas de HDT. Siguiendo sus métodos y pruebas en Stratasys, este fue el valor observado para el MPa 1,8. Las mediciones de Stratasys del HDT a 0,45 MPa fueron muy similares a sus valores informados.

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Conclusión

Debido a la gran influencia que las trayectorias de herramienta tienen en las propiedades mecánicas y físicas, los clientes de las empresas de manufactura aditiva deben observar de cerca qué datos se presentan para hacer comparaciones precisas entre las propiedades del material.

Al cambiar entre trayectorias de herramienta estándar de 45°/-45° y las trayectorias de herramienta unidireccionales optimizadas, hemos demostrado cambios drásticos en el rendimiento del material de ABS-CF10 y Nylon-CF10. Para HDT, Nylon-CF10 mostró un aumento del 160 % al cambiar las trayectorias de herramienta a 0,45 MPa y 1,8 MPa. Para la fuerza de tensión, el ABS-CF10 presentó un aumento del 71 % en el módulo elástico. Nylon-CF10 tuvo un aumento del 152 % en el módulo elástico de un 94 % en la fuerza de tensión con las trayectorias de herramienta unidireccionales. Estos no son cambios menores en la resistencia y, en última instancia, en el rendimiento de las piezas y marcan una diferencia drástica en comparación con los materiales de la competencia que siempre se prueban con trayectorias de herramienta unidireccionales optimizadas. Las pruebas mecánicas, especialmente si se utilizan para límites de diseño, deben realizarse en muestras que sean representativas de las geometrías de las piezas. La optimización de las trayectorias de herramienta en la orientación más fuerte muestra la máxima resistencia posible, pero puede no corresponder a la resistencia real de la pieza, y no se recomienda como la metodología de prueba estándar.

Apéndice A: Versiones de software, equipo de prueba e historial de calibración

	ABS-CF10	Nylon-CF10
Software de procesamiento	Insight 16.10 (compilación 4372)	
Software para empaquetar compilaciones	Centro de control 16.10 (compilación 4372)	
Impresora S/N para compilaciones	D80022	D80005
Software backend de impresora	2.5.5966.0	2.6.5976.0
Información del material	PN: 333-90310 SN: 630755611 Fecha de fabricación: 04 de junio de 2022 Lote: 112995	PN: 333-90450 SN: 676936711 Fecha de fabricación: 13 de abril de 2023 Lote: 114590

Tabla 6 - Versiones de software, información de la máquina e información del material

Pruebas	Equipo	Número de serie	Fecha de calibración
Pruebas de tensión	Criterio MTS 43	5001678	6/15/2023
Célula de carga de tensión	Célula de carga LPS-104C de 10kN	1010933	6/16/2023
Extensómetro	Extensómetro de 2 pulgadas 634-28E-24	10574728	6/15/2023
Pruebas de flexión	Criterio MTS 43	5000462	6/14/2023
Célula de carga flexible	Célula de carga de 5kN LPS-503C	1021979	6/14/2023
HDT	DMA Q300	0800-1786	3/29/2023
Pruebas de impacto	Probador de impacto Tinuis Olsen 892	195795	1/31/2023

Tabla 7 - Equipo de prueba y fecha de calibración

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

Apéndice B - Tablas en unidades imperiales

Rutas de herramientas	HDT (°F)			
	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Bajo (66 psi)	Alto (264 psi)	Bajo (66 psi)	Alto (264 psi)
Trayectorias de herramienta unidireccionales (orientación XY)	242	233	307	271
Trayectorias de herramienta estándar 45/-45 (orientación XY)	234	233	136	126
Según moldeado	212	210	228	221

Tabla 1 - HDT de ABS-CF10 y Nylon-CF10 (unidades imperiales)

Rutas de herramientas	ABS-CF10		Nylon-CF10	
	Unidireccional	Estándar 45/-45	Unidireccional	Estándar 45/-45
Módulo de elasticidad (ksi)	756	441	875	347
Fuerza de tensión (psi)	6500	5200	9880	5100
Alargamiento en tensión (%)	1,2	3,0	4,0	5,6
Estrés en el descanso (psi)	6470	5170	9330	3230
Elongación a la rotura (%)	1,2	3,0	5,1	8,2

Tabla 2 - Datos de tensión de ABS-CF10 y Nylon-CF10 en la orientación XY (unidades imperiales)

Resistencia a la flexión de la muestra XY con trayectorias de herramienta unidireccionales		
Rutas de herramientas	ABS-CF10	Nylon-CF10
	Módulo de elasticidad (ksi)	719
Tensión a la flexión a la rotura (%)	2,6	3,4
Tensión de flexión en la rotura (ksi)	13,0	20,0

Tabla 3 - Resistencia a la flexión de ABS-CF10 y Nylon-CF10 en la orientación XY con trayectorias de herramienta unidireccionales (unidades imperiales)

Resistencia al impacto Izod de ABS-CF10 y Nylon-CF10 (pies*libras/pulgadas)			
Orientación de impresión	Rutas de herramientas	ABS-CF10	Nylon-CF10
Plano (XY)	Unidireccional	1,48	5,10
OnEdge (XZ)	Estándar 45°/-45°	0,962	3,79
Vertical (ZX)	Estándar 45°/-45°	0,381	0,68

Tabla 4 - Datos de resistencia al impacto Izod (unidades imperiales)

Más allá de la hoja de datos:

Las pruebas de materiales unidireccionales pueden inducir a errores en la fabricación

	Propiedad del material	ABS-CF10	Nylon-CF10	Material de la competencia 1	Material de la competencia 2
Tensión ²	Módulo de elasticidad (ksi) ¹	756	875	348	435
	Fuerza de tensión (psi)	6500	9880	5800	5950
	Alargamiento en tensión (%)	1,2	4,0	no reportado	no reportado
	Estrés en el descanso (psi)	6470	9330	5370	5800
	Elongación a la rotura (%)	1,2	5,1	25	18
Flexión	Módulo de elasticidad (ksi)	719	1010	435	522
	Resistencia a la flexión en rotura (%)	2,6	3,4	no reportado	no reportado
	Tensión de flexión en la rotura (psi)	13000	20000	10300	10300
HDT	Temperatura de desviación del calor - 66 psi (F°)	243	307	293	293
	Temperatura de desviación del calor - 264 psi (F°)	233	271	160 (pruebas de laboratorio de Stratasys ³)	no reportado
Impacto	Impacto Izod - con muesca (pies*libras/pulgadas)	1,48	5,10	6,18	no reportado

Tabla 5: Comparación de propiedades mecánicas y físicas entre los materiales de Stratasys y los materiales de la competencia (unidades imperiales)

Notas:

1. El módulo de tensión para ABS-CF10 y Nylon-CF10 se calcula sobre los valores de tensión-deformación del 15 % al 35 % de la carga máxima. El rango para el cálculo del módulo de tensión no se conoce para el material de la competencia.
2. Las muestras de ABS-CF10 y Nylon-CF10 se imprimieron para dar forma con trayectorias de herramienta unidireccionales. Los cupones de tensión del material de la competencia se cortaron para darle forma.
2. El competidor no informa la mayor presión de las pruebas de HDT. Siguiendo sus métodos y pruebas en Stratasys, este fue el valor observado para el MPa 1,8. Las mediciones de Stratasys del HDT a 0,45 MPa fueron muy similares a sus valores informados.

EE. UU. – Sede central

7665 Commerce Way
Eden Prairie, MN 55344, EE. UU.
+1 952 937 3000

EMEA

Airport Boulevard B 120
77836 Rheinmünster, Alemania
+49 7229 7772 0



PÓNGASE EN CONTACTO.

www.stratasys.com/contact-us/locations

ISRAEL – Sede central

1 Holtzman St., Science Park
Casilla postal 2496
Rehovot 76124, Israel
+972 74 745 4000

Asia del Sur

1F A3, Ninghui Plaza
No.718 Lingshi Road
Shanghái, China
Tel: +86 21 3319 6000

stratasys.com

Certificado por ISO 9001:2015

