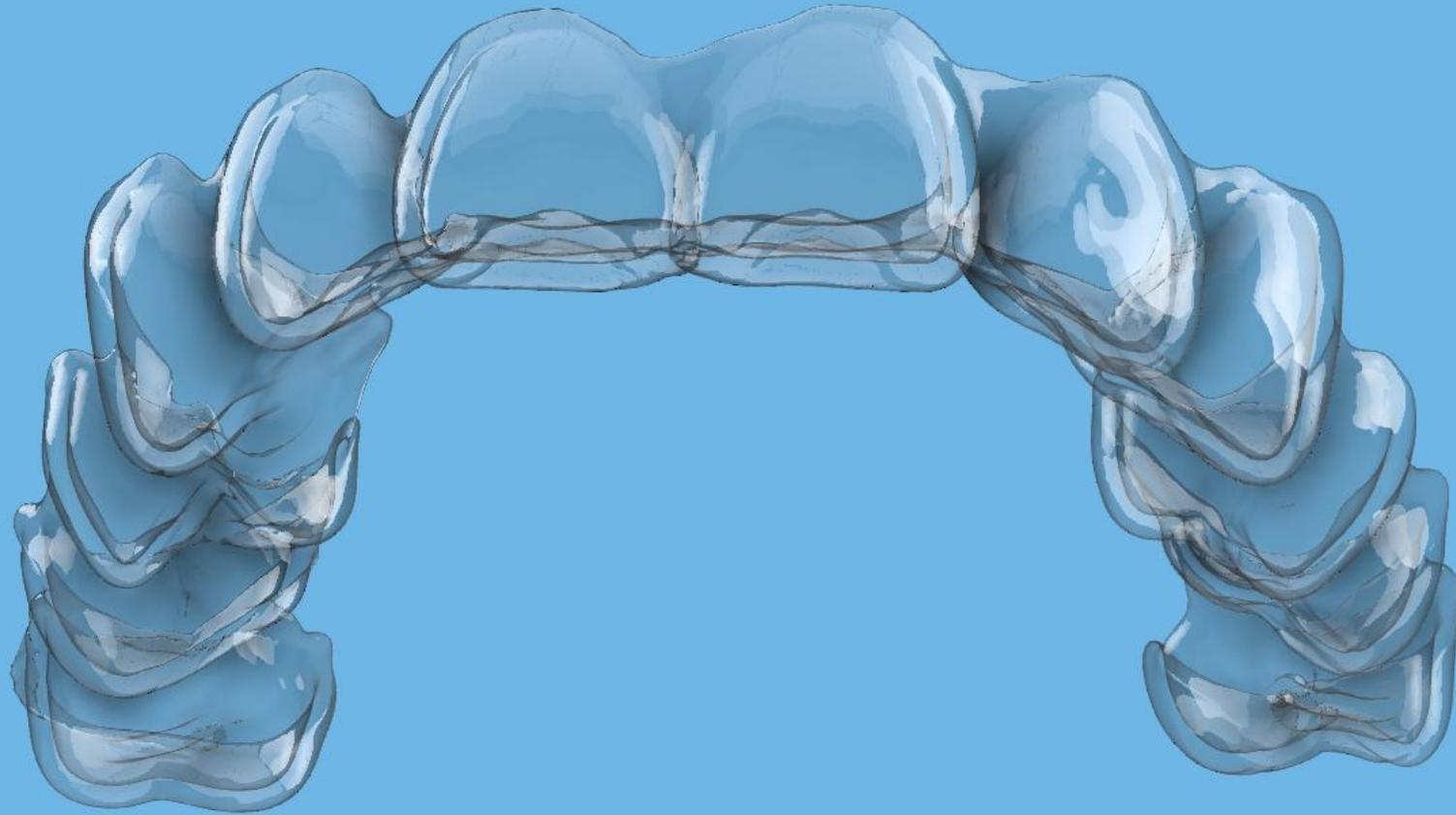


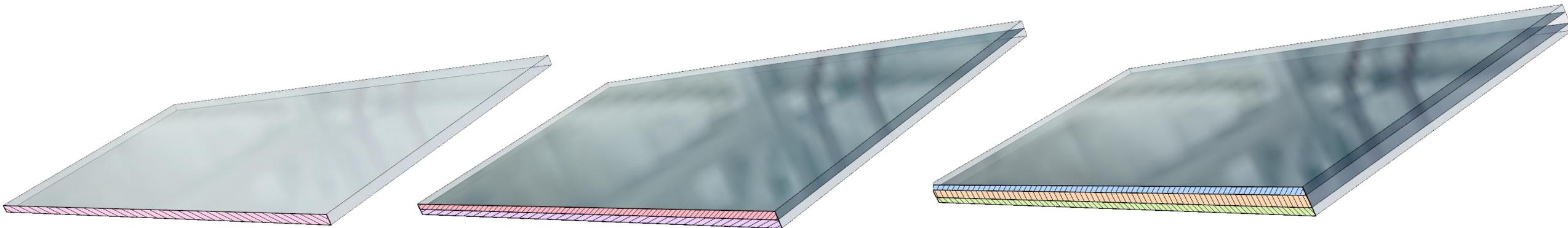
# Materiales termoplásticos para alineadores. Propiedades mecánicas



## ¿QUÉ SON LOS ALINEADORES?

Los alineadores son aparatos de plástico de ortodoncia, que se utilizan para movimientos dentales debido a sus propiedades físicas más importantes. **Estas propiedades son rigidez elástica, su transparencia y su aceptación biológica o biocompatibilidad fundamentalmente.** Se construyen por termoconformado sobre modelos de resina impresos en 3D que llevan incorporados pequeños movimientos dentales previamente realizados en un software destinado para ello.

Si existe algún tipo de clasificación sería por la tecnología de las planchas termoplásticas fabricadas. Estas serían **1- Monocapas** o planchas de una sola capa de material, **2- Doble capa** con dos capas de diferente material unidas por una resina. **3- Triple capa** tres capas en sándwich con la interior elastomérica



MONOCAPA

DOBLE CAPA

TRIPLE CAPA

## QUÉ ES EL MÓDULO ELÁSTICO DE UN MATERIAL Y POR QUÉ NOS INTERESA SABERLO

El módulo elástico es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica una fuerza.

Para un material elástico lineal e isótropo, el módulo de Young tiene el mismo valor para una tracción que para una compresión, siendo una constante independiente del esfuerzo siempre que no exceda de un valor máximo denominado límite elástico, Yield strength o fluencia. **La fluencia es cuando empieza la deformación del material.**

A mayor módulo elástico mayor resistencia a la deformación del material y mayor rigidez de las estructuras.

Por este motivo el módulo de elasticidad o **módulo de Young del material es lo primero que leemos en la hoja de propiedades** así como el Yield strength o stress, que es la deformación en Mpa.

Como los alineadores están fabricados con diferentes materiales plásticos, todos ellos tendrán un módulo elástico debido al material en sí y un módulo elástico que da el fabricante de las láminas, ya que las propiedades pueden haber sido alteradas por los plastificantes usados.

**Los alineadores una vez fabricados también cambian sus propiedades**, pero estas son mas difíciles de medir. Solo el espesor y en algún sentido la rigidez.

<b>1-TIPOS DE PLÁSTICOS PARA ALINEADORES MONOCAPA</b>	<b>M. DE YOUNG</b>	<b>FLUENCIA</b>	<b>PRECIO</b>
Polietileno (PE-LH) polietileno de baja densidad marca COIPLAST (SCHEU)	175 MPa	9 MPa	11,91€ (10und)
Polietileno (PE-HD) polietileno de alta densidad marca ISOFLAN (SCHEU)	<600 MPa	9 MPa	28,69 (100 und)
Polietileno tereftalato (PET) marca CLEAR (DENTALFLUX)	2200 MPa	90 MPa	11 € 25 und
Polietileno glicocólico (PET-G) marca DURAN (SCHEU) BIOLON (DREVE)	2200 MPa	77.04 MPa	28,89 € (10und)
Etilvinilacetato (EVA) marca BIOPLAST (SCHEU)	15 MPa	13 MPa	16,89 €
Polipropileno (PP) marca HARDCAST (SCHEU)	890 MPa	25 MPa	7,5 € (10 und)
Copoliéster (PC) Marca IMPRELON S (SCHEU), ESSIX A+ y ESSIX C+	1624 MPa	45 MPa	44 € (10 und)
Polivinilcloruro (PVC) Marca FANTASMINO	3000 MPa	100 MPa	Sistema
Poliestireno (PS) Marca IMPRELON (SCHEU)	3200 MPa	55 MPa	18,84 €
Policarbonato (PC) Marca ANGELALIGN.	2300 MPa	65 MPa	Sistema
F22 Aligner polyurethane (Sweden & Martina, Due Carrare)		81.36 MPa	Sistema

## 2-TIPOS DE PLÁSTICOS PARA ALINEADORES DE DOBLE CAPA

Poliuretano (PUR) +LD 30 copoliéster<sup>1</sup> PET Marca (SmarTrack)  
ALIGN TECHNOLOGY

Poliuretano +polietileno glicocólico TPU+PET-G Marca DURASOFT  
PD (SCHEU).

Marca ERKOLOC PRO ERKODENT PET-g+TPU (POLIURETANO)

Poliuretano + policarbonato PC  
Marca DURASOFT (SCHEU).

	M. DE YOUNG	FLUENCIA	PRECIO
SMARTRACK	2466±20	-	SISTEMA
DURASOFT pd	2200 Mpa (PTE-G)	-	36,98 € (10 und)
ERKOLOC PRO	2200Mpa	56 MPa	70,69 € 20 und
DURASOFT	2400 Mpa (PC)	65 Mpa (PC)	

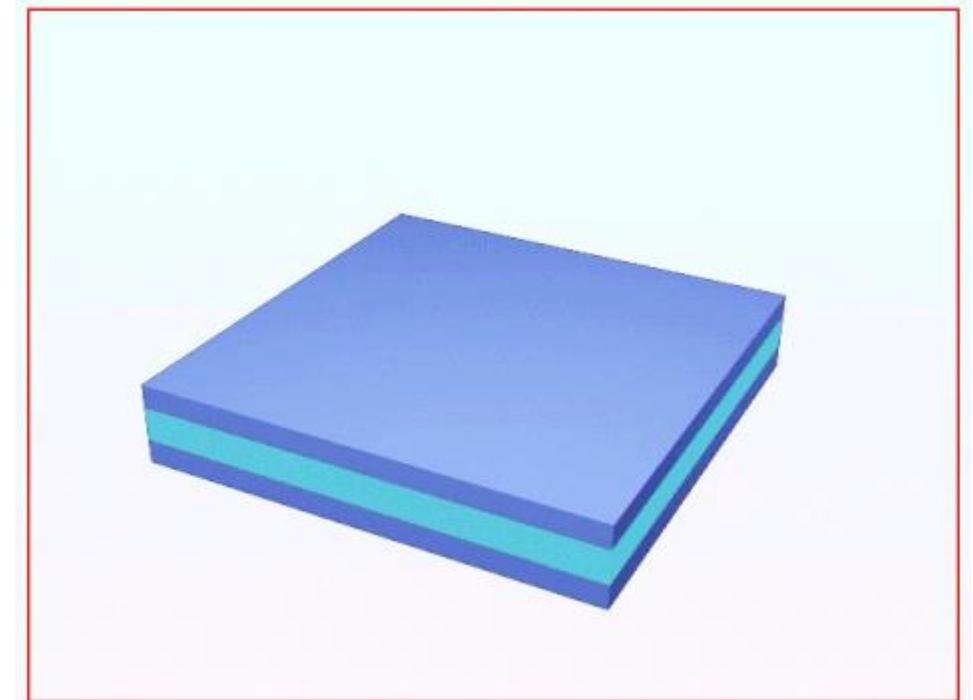
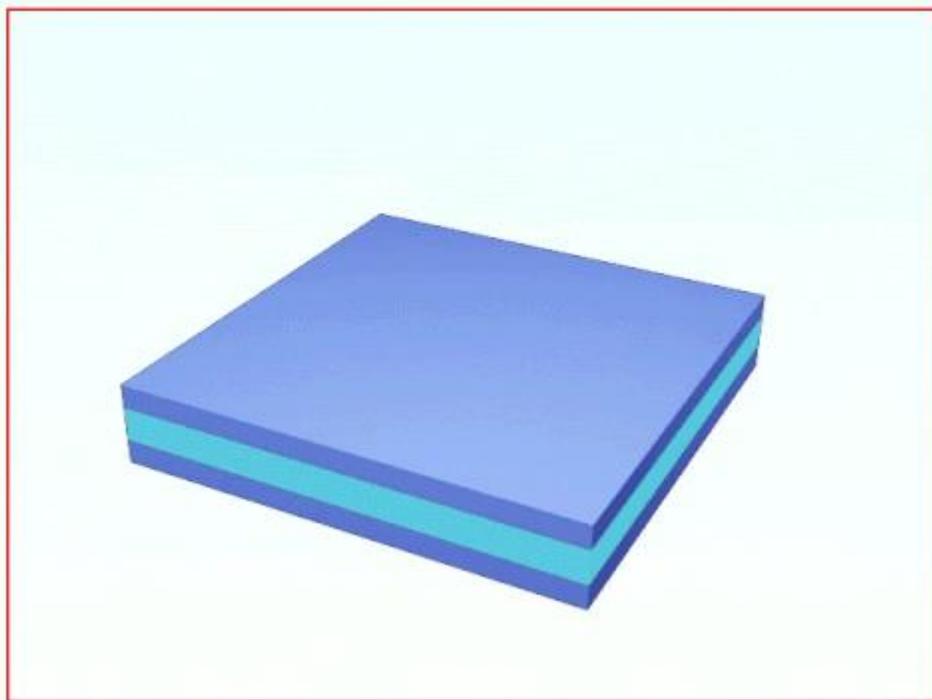
**1** El copoliéster se forma cuando se realizan modificaciones a los poliésteres, que son combinaciones de diácidos y dioles . Por ejemplo, al introducir otros diácidos, como el ácido isoftálico (IPA) u otros dioles, como el ciclohexano dimetanol (CHDM) al poliéster tereftalato de polietileno (PET), el material se convierte en un copoliéster debido a su contenido de comonomero.

### 3-TRIPLE CAPA

Poliretano PUR +elastómero + PUR marca ZENDURA

M. DE YOUNG	FLUENCIA	PRECIO
1300/2100 NPa		86 USD

Las propiedades elásticas en la lámina de tres capas de Zendura dan como resultado propiedades tridimensionales a las fuerzas aplicadas en cualquier dirección, incluidas las fuerzas de rotación, según el fabricante. No se han encontrado estudios sobre las propiedades del material ni los valores del módulo de Young o la fluencia



## QUÉ ES LA RIGIDEZ DE UN ALINEADOR Y POR QUÉ NOS INTERESA

**La rigidez es una medida de la resistencia que ofrece un cuerpo elástico a la deformación.** El concepto complementario es flexibilidad: cuanto más flexible es un objeto, es menos rígido.

La rigidez o stiffness  $k$  de un alineador depende de la fuerza aplicada sobre el alineador  $F$  y del desplazamiento efectuado por la fuerza en el alineador  $\delta$ , con la fórmula  $k=F/\delta$

La relación de la rigidez con la elasticidad del cuerpo (alineador) **viene a través del módulo de elasticidad** o módulo de Young. El módulo elástico de un material no es lo mismo que la rigidez de un componente hecho de ese material. **El módulo elástico es una propiedad del material constituyente** sea una aleación o un material con plastificadores para mejorar su elasticidad. **La rigidez es una propiedad de una estructura o componente** de una estructura y, por lo tanto, depende de varias dimensiones físicas que describen ese componente, en nuestro caso del alineador construido.

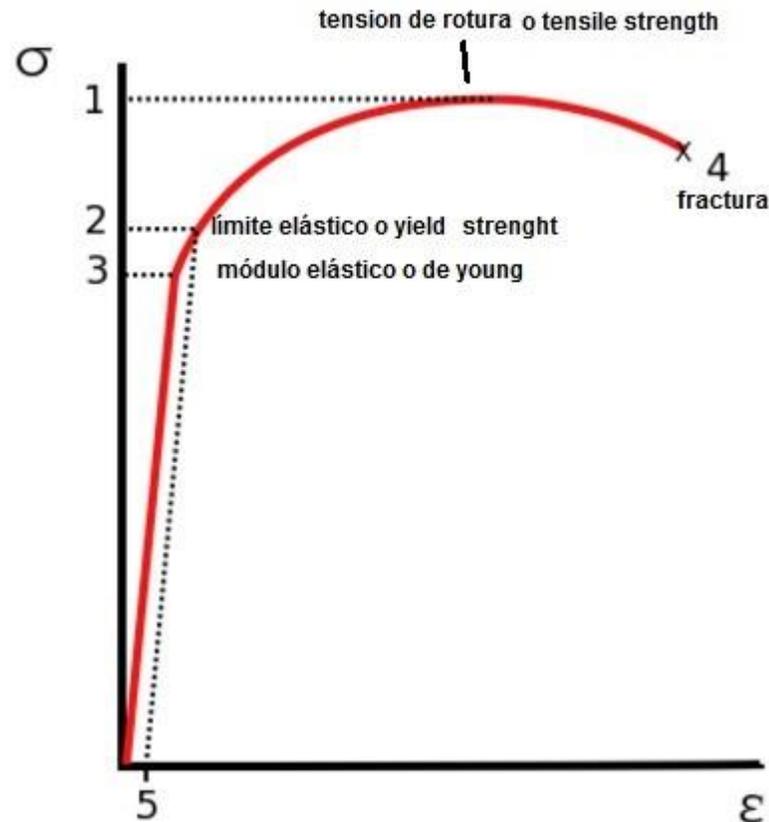
La rigidez del alineador es de importancia principal en los movimientos de los dientes, por lo que el módulo de elasticidad es a menudo una de las propiedades principales consideradas al seleccionar un material. **Se busca un alto módulo de elasticidad cuando no se requiere mucha deformación, mientras que se requiere un bajo módulo de elasticidad cuando se necesita flexibilidad.** Es decir, módulo de elasticidad y rigidez son los parámetros que hay que tener en cuenta al elegir un material. A partir de ello, se considerará **el espesor como una de las propiedades que hará que el alineador sea más o menos rígido.**

El problema es que no se puede medir la rigidez in situ de cada alineador. Por ese motivo tenemos que saber qué parámetro nos acerca a la rigidez del componente antes del termoformado y ese es **la fluencia o Yield stress**

## QUÉ ES LA FLUENCIA O YIELD STRESS/STRENGTH

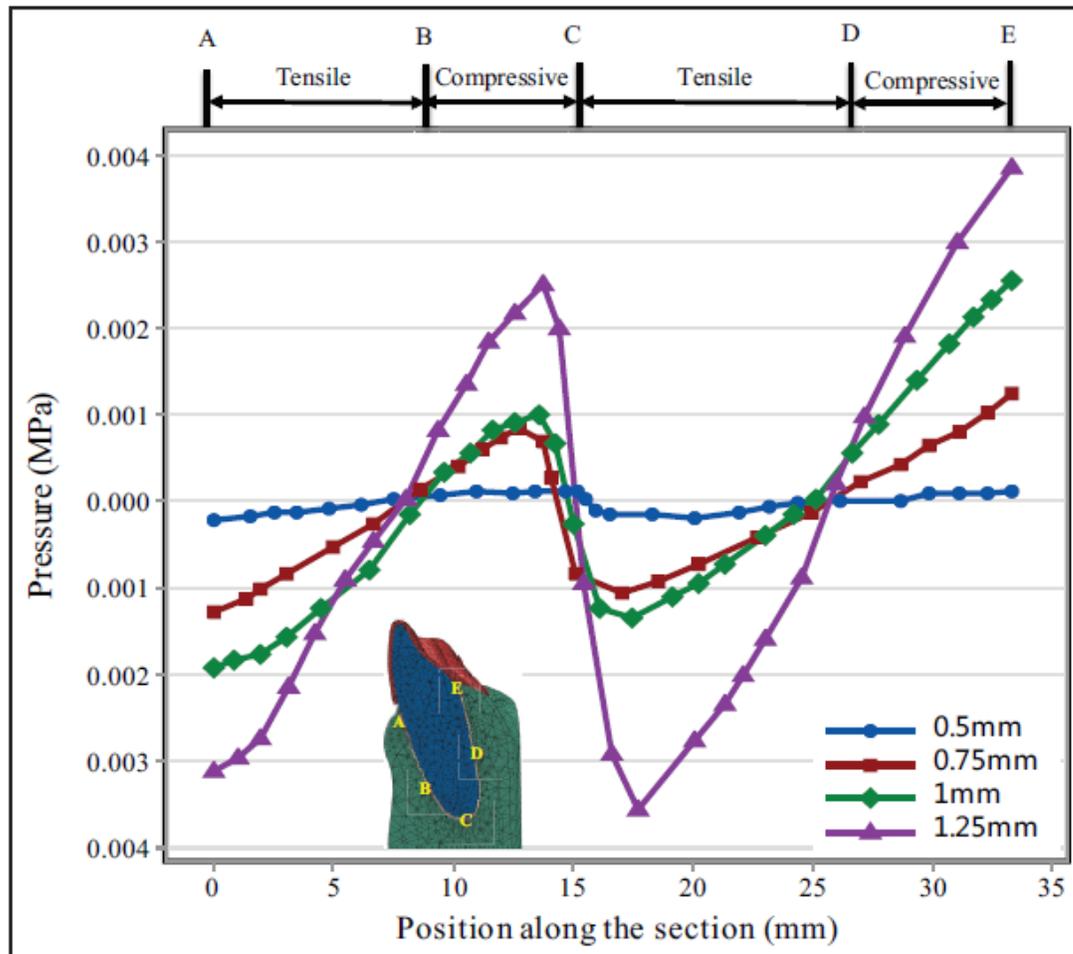
Es la propiedad del material se define como la tensión a la que un material comienza a deformarse plásticamente y de un modo irrecuperable. con este parámetro podemos saber los límites del material o del componente ante la deformación plástica.

También se llama **límite elástico**, que se conoce en la **curva tensión deformación**. El problema es que esto parámetros son orientativos ya que cada alineador modifica sus propiedades después del termoformado.



## RIGIDEZ Y ESPESOR EN LOS ALINEADORES.

La rigidez de un alineador está ligada también al espesor de la lámina que usamos para su termoformado. Las láminas suelen ser de 1mm, 0,7mm y 0,5mm. Ese espesor variará las propiedades físicas dependiendo del tiempo de calentamiento de la plancha e influirá en la rigidez y por tanto en la fuerza que se transmitirá a los dientes.



En el gráfico vemos que los alineadores con espesores de 0,5mm generan fuerzas muy ligeras. Este tipo de espesor es interesante para empezar a estimular los osteoclastos y empezar a mover muy ligeramente los dientes.

A partir de 0,7 mm y de 1 mm las fuerzas son las ideales para mover los dientes aunque hay diferencias dependiendo de los autores.

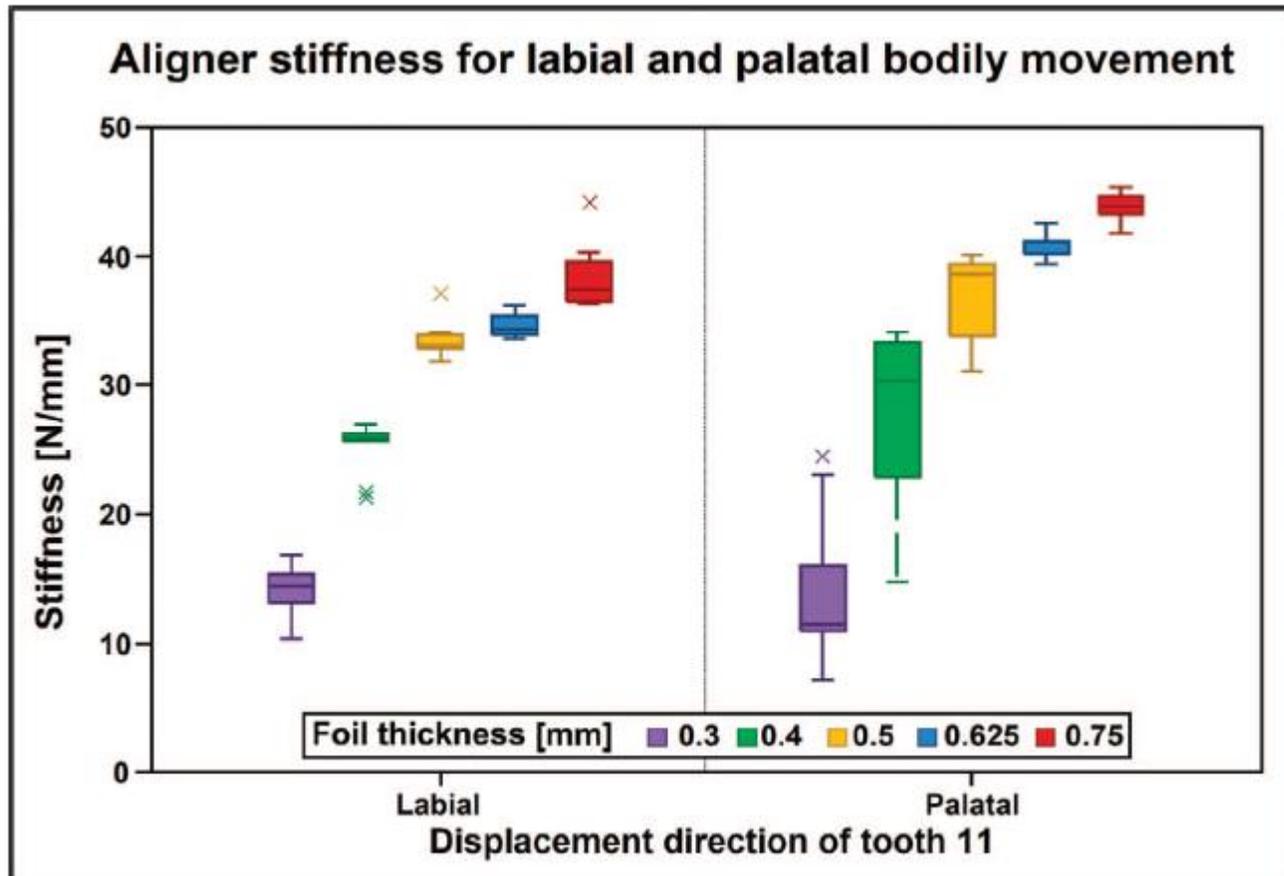
Con alineadores de 1,25 mm las fuerzas pueden dañar el ligamento periodontal y no mover los dientes.

*Effect of thermoplastic appliance thickness on initial stress distribution in periodontal ligament*

[De-Shin Liu, Yao-Te Chen](#)

Advances in Mechanical Engineering Volume: 7 issue: 4,

Una propuesta interesante es empezar con alineadores de 0,4 mm 0,5 mm y 0.75 mm. Es un protocolo que combina poca rigidez inicial y un incremento estable de la fuerza. En el gráfico se observa que los espesores de 0.3 mm no son eficaces por su gran deformación. Hay que explicar que el autor se refiera a láminas antes del termoformado. El autor compensa una posible variación con el método de estudio utilizado.



*Forces and moments delivered by novel, thinner PET-G aligners during labiopalatal bodily movement of a maxillary central incisor: An in vitro study*  
Fayez Elkholya; Falko Schmidt; Rudolf Jäger; Bernd G. Lapatkic

## CÓMO VARÍA EL ESPESOR UN TERMOFORMADO DE LÁMINA

Todos las **propiedades de las planchas termoformadas cambian después del termoformado**. la razón principal es que cambia el espesor de la plancha una vez termoformada. Pueden cambiar entre un 10-30%. Propiedades físicas como son el módulo de elasticidad, las fuerzas de flexión y tensión, la dureza, la fluencia e incluso la transparencia cambian en alguna medida. **Estos cambios dependerán del grosor de las láminas y del material empleado.**

El problema es que no se pueden medir en clínica, con lo cual debemos fijarnos en el módulo de elasticidad que nos proporciona el fabricante o en su defecto el del material y el espesor después del termoformado.

La propuesta sería encontrar un modo de medir algunas propiedades en clínica, antes de la colocación de cada alineador. para conocer las fuerzas exactas que se ejercen sobre el periodonto con cada alineador, además de **la deformación que se produce por la utilización de los alineadores con diferentes materiales.**

*Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners*

*Jeong-Hyun Ryu*

*Jae-Sung Kwon*

*THE KOREAN JOURNAL of  
ORTHODONTICS*

*Thickness of orthodontic clear aligners after thermoforming and after 10 days of intraoral exposure: a prospective clinical study.*

Bucci R, Rongo R, Levatè C, Michelotti A, Barone S, Razionale AV, D'Antò V.

Prog Orthod. 2019 Sep 9;20(1):36. doi: 10.1186/s40510-019-0289-6.

## Efectos de los cambios en las propiedades de los alineadores después del termoformado

Table 4. Comparison of the tensile forces and elastic moduli for different thermoplastic materials before thermoforming (BT) and after thermoforming (AT)

Thickness (mm)	Brand	Tensile force (N)		Elastic modulus (MPa)	
		BT	AT	BT	AT
0.5	Duran	119.9 <sup>Aa</sup> ± 5.1	67.8 <sup>Ab</sup> ± 11.0	3,054.3 <sup>Aa</sup> ± 65.3	2,531.7 <sup>Ab</sup> ± 288.5
	Essix A+	121.2 <sup>Aa</sup> ± 2.8	104.0 <sup>Ab</sup> ± 11.9	2,673.1 <sup>Ba</sup> ± 86.7	3,020.6 <sup>Aa</sup> ± 369.1
	eClinger	119.8 <sup>Aa</sup> ± 5.4	59.6 <sup>Ab</sup> ± 6.6	2,691.4 <sup>Ba</sup> ± 149.6	2,655.5 <sup>Aa</sup> ± 398.6
0.75	Duran	173.0 <sup>Aa</sup> ± 6.1	106.6 <sup>Ab</sup> ± 5.1	2,620.0 <sup>Aa</sup> ± 88.0	2,427.9 <sup>Ab</sup> ± 197.3
	Essix A+	186.5 <sup>Aa</sup> ± 4.0	104.0 <sup>Ab</sup> ± 11.9	2,423.8 <sup>Aa</sup> ± 98.8	2,591.4 <sup>Aa</sup> ± 152.7
	eClinger	182.3 <sup>Aa</sup> ± 5.6	103.0 <sup>Ab</sup> ± 15.0	2,313.1 <sup>Aa</sup> ± 112.2	2,199.5 <sup>Aa</sup> ± 236.8
	Essix ACE	168.5 <sup>Ba</sup> ± 8.9	105.6 <sup>Ab</sup> ± 13.5	2,556.7 <sup>Aa</sup> ± 98.1	1,958.5 <sup>Ab</sup> ± 171.5
1.0	Duran	241.3 <sup>Aa</sup> ± 6.4	143.1 <sup>Ab</sup> ± 10.5	2,548.2 <sup>Aa</sup> ± 141.7	2,391.5 <sup>Aa</sup> ± 72.4
	Essix A+	234.0 <sup>Aa</sup> ± 5.9	154.0 <sup>Ab</sup> ± 21.2	2,218.4 <sup>Aa</sup> ± 119.0	2,392.1 <sup>Aa</sup> ± 88.5
	Essix ACE	218.0 <sup>Ba</sup> ± 13.8	141.9 <sup>Ab</sup> ± 8.3	2,307.8 <sup>Aa</sup> ± 102.1	1,861.2 <sup>Bb</sup> ± 145.6

Values are presented as mean ± standard deviation.

<sup>A,B</sup>The same capital letters in the vertical columns indicate no difference between materials at the 1% significance level. <sup>a,b</sup>The same lower case letters in the horizontal rows indicate no difference between BT and AT at the 1% significance level.

See Table 1 for the manufacturer of each product.

*Effects of thermoforming on the physical and mechanical properties of thermoplastic materials for transparent orthodontic aligners Jeong-Hyun Ryu Jae-Sung Kwon THE KOREAN JOURNAL of ORTHODONTICS*

## Efectos de los cambios en las propiedades de los alineadores después del termoformado

**Tabla 1.** Valores de los parámetros de comparación para trece marcas de polímeros comerciales usados para la fabricación de alineadores dentales.

Material	Polímero	Traslucidez	Capacidad de absorción de agua [wt%]	Espesor [mm]	Cambio de espesor [mm]	Módulo elástico <sup>9</sup> [MPa]
Invisacryl A	CP <sup>1</sup>	Transparente	0,80	0,75 y 1,00	0,20	550
Invisacryl C	PP/E <sup>2</sup>	Opaco	0,10	0,75 y 1,00	0,10	450
Essix A+	CP	Transparente	0,80	1,00	0,20	550
Essix C+	PP/E	Opaco	0,10	1,00	0,10	450
Bioplast	EVA <sup>3</sup>	Opaco	0,22	0,75 y 1,00	0,10	25
Copyplast	PE <sup>4</sup>	Opaco	0,03	1,00	0,20	275 – 1 240
Harcast	PP	Opaco	0,10	0,80	0,05	425
Duran	PETG <sup>5</sup>	Transparente	0,80	1,00	0,15	500
Imprelon S	PC <sup>6</sup>	Transparente	0,35	0,75	0,10	60 – 72,4
Smart Track	MDI <sup>7</sup>	Transparente	1,50	0,75	0,10	48
Zendura	TPU <sup>8</sup>	Transparente	0,15	0,38 y 0,75	0,05	31 – 62
Track A	PETG	Transparente	0,16	0,50 y 0,80	-	55 - 75
Biolon	PETG	Transparente	0,16	0,75 y 1,00	-	55 -75

<sup>1</sup>Copoliéster, <sup>2</sup>Polipropileno/Etileno, <sup>3</sup>Etilvinilacetato, <sup>4</sup>Polietileno, <sup>5</sup>Teraftalato de polietileno glicol, <sup>6</sup>Policarbonato, <sup>7</sup>Diisocianato de difenilmetano, <sup>8</sup>Poliuretano termoplástico.

<sup>9</sup>Los valores son considerados como medias poblacionales de acuerdo a datos del fabricante. Algunos están dados en rangos.

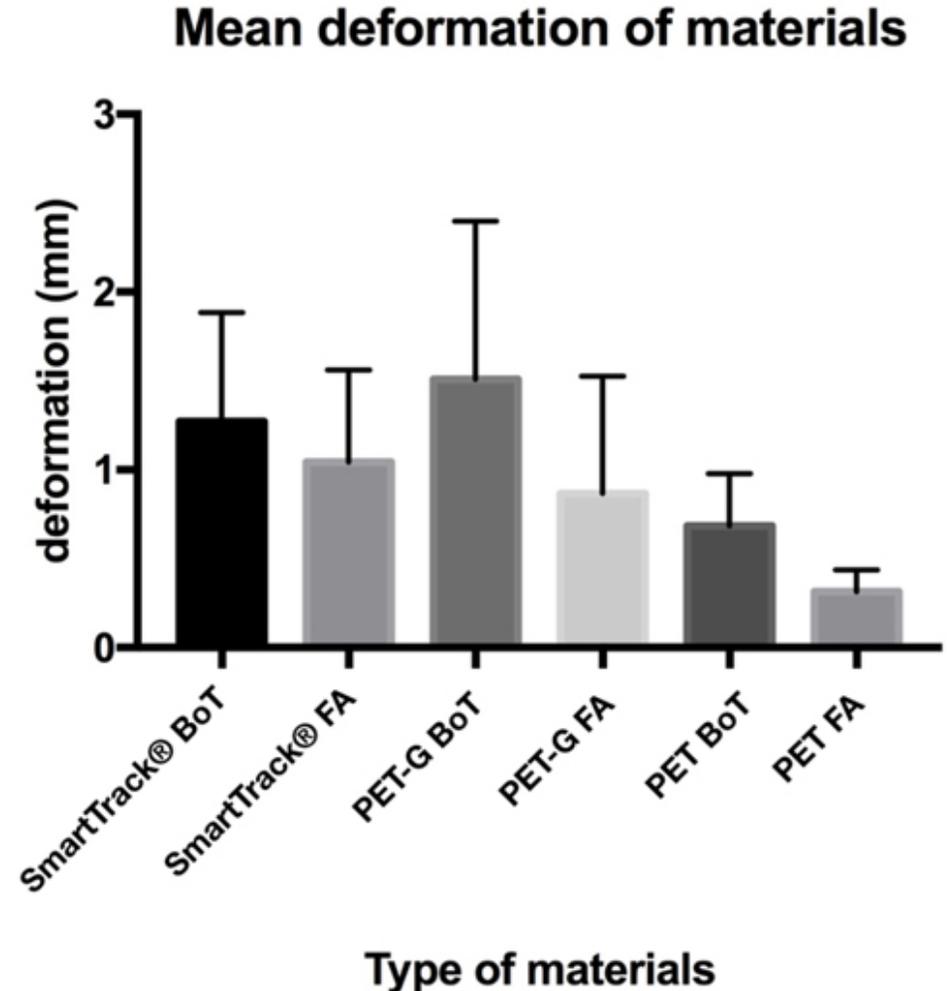
*Comparison of mechanical properties of polymer sheets used in the manufacture of dental aligners* Vargas, Ocampo, Orozco, Gómez Arango, Escalante, Marrugo, Montoya González

## SOBRE LA DEFORMACIÓN EN CLÍNICA DE LOS ALINEADORES DE DIFERENTES MATERIALES

Sobre este tema hay un artículo publicado recientemente sobre la deformación que se produce en clínica con tres tipos de alineadores, PET, PUR (SmartTrack) y PET-G. Se evaluó la estabilidad dimensional in vitro e in vivo. **Se concluyó que el alineador mas estable era el fabricado con PET.**

Este dato es muy interesante ya que las planchas de PET-G y la de PUR son mucho mas caras que las de PET.

En el gráfico se observa la deformación en diferentes puntos de los alineadores con diferentes materiales en diferentes puntos FA y BoT.



*Comparison of the Stress Strain Capacity between Different Clear Aligners*

Domenico Ciavarella<sup>1</sup>, Claudia Cianci<sup>2</sup>, Michele Laurenziello<sup>1</sup>,

The open dentistry journal

## CONCLUSIÓN

La elección dependerá de lo que le interese al dentista

-Si lo que se quiere es mandarlos a fabricar en fuentes externas hay muchas opciones. La mas conocida es Invisalign con SmarTtrack. Es la opción mas cara.

-Si lo que se pretende es fabricar los alineadores en clínica las opciones a considerar son:

- precio.** Sin duda el que mejor precio tiene es el PET de CLEAR 11€ 25 unidades

- claridad de las especificaciones.** Scheu es el fabricante que especifica mejor sus planchas

- marketing.** Zendura por su presentación de tres capas de material.

- estabilidad dimensional.** Los fabricados con PET son los mas estables y se deforman menos

- movimientos lentos.** Hayque optar por alineadores de poco espesor ya que hay una relación entre el modulo de elasticidad, la rigidez y el espesor. También con la longitud de la encía