



Tecnología, Ciencia y Educación
Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos
imiqac@sercom.com.mx
ISSN (Versión impresa): 0186-6036
MÉXICO

2001

Alvaro Mata / José Vega Baudrit / Mavis Montero / Rocío Pereira / Alejandro Sáenz
ESTUDIO BIOMECÁNICO DE MATERIALES POLIMÉRICOS PARA LA
FABRICACIÓN DE PLANTILLAS ORTOPÉDICAS
Tecnología, Ciencia y Educación, julio-diciembre, año/vol. 16, número 002
Instituto Mexicano de Ingenieros Químicos
Distrito Federal, México
pp. 69-76

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal

Universidad Autónoma del Estado de México

The logo for redalyc features the word 'redalyc' in a red, lowercase, sans-serif font. A red arrow points from the end of the word back to the beginning, forming a circular shape. Below the word, the text 'LA MEMORIA CIENTÍFICA EN LÍNEA' is written in a smaller, black, uppercase font.
LA MEMORIA CIENTÍFICA EN LÍNEA
<http://redalyc.uaemex.mx>

Estudio biomecánico de materiales poliméricos para la fabricación de plantillas ortopédicas

Álvaro Mata¹, José Vega-Baudrit^{4*}, Mavis Montero^{1,2}, Rocío Pereira⁴, Alejandro Sáenz¹

¹Centro de Investigación en Ciencias e Ingeniería de Materiales (CICIMA), Universidad de Costa Rica

²Escuela de Química, Universidad de Costa Rica

³Escuela de Física, Universidad de Costa Rica ⁴Laboratorio de Polímeros (POLIUNA),

Escuela de Química, Universidad Nacional, Apto.86-3000, Heredia, Costa Rica

Tel. 277-3557, correo electrónico (e-mail): jvegab@una.ac.cr

RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo principal la caracterización biomecánica de algunos materiales poliméricos utilizados como plantillas en calzado ortopédico en Costa Rica. Los resultados obtenidos fueron comparados con otros materiales similares que se utilizan en los Estados Unidos de América y la Gran Bretaña. Se realizaron pruebas de compresión, recuperación y durabilidad, dureza, distribución de presión y tensión. Para describir la estructura y el comportamiento de los materiales se utilizó la microscopía electrónica de barrido (MEB). Como los materiales más utilizados en Costa Rica son los que se conocen comercialmente como "Plastazote" y "Plantilla" se probaron con los materiales en estudio (espumas de poliuretano conocidas como PPT y Poron, acetato de etilovinilo, AEV, y espuma de hule natural, HN). De los resultados obtenidos se concluyó que el "Plastazote" presenta buenas propiedades de distribución de presión pero poca recuperación y durabilidad. Por otro lado, la "Plantilla" obtuvo la más baja recuperación y durabilidad y es posible que no posea buenas propiedades de distribución de presión.

Palabras clave: Plantillas ortopédicas poliméricas, viscoelasticidad, dureza, rigidez, relajación de esfuerzos

Key words: Ortopedic polymeric soles, viscoelasticity, hardness, rigidity, relaxation stress

INTRODUCCIÓN

La selección de materiales para la fabricación de plantillas ortopédicas, tanto en Costa Rica como en la mayoría de los países del mundo, ha sido más un arte que una ciencia. La experiencia basada en el tacto y en pruebas de ensayo y error son, en la mayoría de los casos, las metodologías aplicadas para la selección de los materiales utilizados en plantillas ortopédicas para calzado.

La diferencia para determinar la calidad de un material para la fabricación de plantillas puede tener consecuencias tan "triviales" como una pequeña molestia en el talón de un atleta hasta ser tan crítica y decisiva como para causar la amputación de un pie diabético. No obstante, es poca la investigación dedicada al estudio de materiales poliméricos para este tipo de aplicaciones (Rome, 1998).

El principal objetivo de esta investigación es realizar un estudio biomecánico en plantillas ortopédicas elaboradas con materiales poliméricos comerciales, lo cual permitiría en un futuro colaborar con el establecimiento de las normas adecuadas de calidad para este tipo de materiales de amplio uso en Costa Rica. En este estudio se establece una base científica para definir distintas propiedades de materiales utilizados en Costa Rica y se comparan con otros utilizados en los Estados Unidos de América y la Gran Bretaña. Las propiedades físicas y químicas se analizarán e interpretarán desde un punto de vista biomecánico.

MATERIALES Y METODOLOGÍA

De la información obtenida en diferentes fábricas de calzado ortopédico y de diversos profesionales y espe-

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia

(Recibido: Noviembre 16, 2001, Aceptado: Diciembre 27, 2001)

cialistas, se determinó que los materiales conocidos comercialmente como "Plastazote" y "Plantilla" son los que se emplean en mayor cantidad en clínicas, hospitales y zapaterías en Costa Rica.

Las muestras de "Plastazote" y "Plantilla" se compararon con cinco materiales denominados comercialmente como *PPT*, *Poron*, *NR*, *EVA* y *PPT-Plast*. Los dos primeros son muy utilizados en los Estados Unidos y en la Gran Bretaña y son espumas de poliuretano pero no se sabe químicamente la diferencia entre ambos. El *HN* o *NR*, por *natural rubber* en inglés, es un material espumoso fabricado en Glasgow, Escocia, y se obtiene del hule natural. La muestra conocida como *EVA*, por sus siglas en inglés (de ethyl-vinyl acetate) es un material polimérico utilizado en algunas industrias del plástico en Costa Rica, pero no para la fabricación de plantillas. Este material, por lo general, se usa por sus propiedades como agente distribuidor de presión en las plantillas. Finalmente, el *PPT-Plast* es una lámina formada en un tercio de su grosor por *PPT* y en los dos tercios restantes por *Plastazote*, utilizada principalmente en los Estados Unidos. En la Tabla 1 se presentan algunas características de estos materiales.

Durante la experimentación, se realizaron cinco clases de pruebas con los materiales estudiados. Éstas fueron de compresión, recuperación y durabilidad, tensión, dureza y distribución de presión. Además, se utilizó el microscopio electrónico de barrido (MEB) para describir la estructura de los materiales y explicar su comportamiento.

1. Pruebas de compresión

Se basaron en el ensayo ASTM D 575-88 del libro de métodos estándar de los EEUU (ASTM, 1992c). Se

utilizó un aparato de pruebas mecánicas universales (marca Orientec, modelo RTM-100). Se prepararon probetas circulares de los materiales con una dimensión de 27 mm de diámetro. La velocidad de la prueba fue de 30 mm/min. Se utilizó una celda de 100 kg. El análisis se aplicó hasta alcanzar una presión de 280 kPa. Este valor se tomó como intermedio entre el valor reportado como máximo dentro de un buen zapato ortopédico (Pitei y col., 1996) y las presiones dentro de un zapato normal, 350 kPa (Foto y Birke, 1998). A los 280 kPa, el equipo se detuvo y se obtuvo los valores de fuerza a los 5, 10 y 20 segundos producto de la relajación del material.

2. Recuperación y durabilidad

A esta prueba se le conoce en el medio técnico como "compression set" (CS). Se basa en el ensayo ASTM D 395-89 (ASTM, 1992a). Se utilizó una prensa manual a la cual se le adaptó un micrómetro (marca Mitutoyo), para medir hasta milésimas de milímetro de desplazamiento. Las probetas, de 27 mm de diámetro, se colocaron en la prensa y se presionaron hasta un 75% del grosor original. Pasadas 22 horas, se midió el grosor del material a los 30 minutos de haberse abierto la prensa.

3. Dureza

El experimento se realizó con un durómetro manual (marca Shore Instron) de escala A, disponible en laboratorios cooperantes. Se prepararon probetas de 27 mm de diámetro y se colocaron en el durómetro el cual funciona bajando una aguja e introduciéndola en el mate-

Tabla 1.
Características de algunos materiales utilizados en la fabricación de plantillas ortopédicas

Nombre	Tipo	Porosidad	Densidad (g/cm ³)	Grosor (mm)	Distribuidor	Fabricante
1 PPT®	Poliuretano	Abierto	0.395	6.31	Algeo, Inglaterra	Rogers Corporation, USA
2 Poron®	Poliuretano	Abierto	0.259	6.09	Algeo, Inglaterra	Rogers Corporation, USA
3 Plastazote®	Polietileno	Cerrado	0.040	6.36	Algeo, Inglaterra	Rogers Corporation, USA
4 Plantilla	No se sabe	Cerrado	0.045	4.91	Simil Cuero de Costa Rica	No se sabe
5 PPT-Plast*	No se sabe	No se sabe	0.135	9.51	Inst. Americano del Pie	No se sabe
6 HN, NR*	Hule natural	Abierto	0.419	7.31	Ross Frasier, Escocia	Ross Frasier, Escocia
7 EVA®	Ethyl-vinyl acetate	Cerrado	0.112	2.30	Simil Cuero de Costa Rica	No se sabe

* Nombre adoptado por los autores

rial. Debido a que este durómetro no es el equipo óptimo para calcular durezas de materiales tan suaves, se recurrió a un mayor número de pruebas por material. En total, se hicieron 35 mediciones por material.

4. Tensión

El experimento se realizó basándose en el ensayo ASTM D 412-87 (ASTM, 1992b). Se utilizó el aparato de Pruebas Mecánicas Universales (Orientec, RTM-100). La velocidad de la prueba fue de 100mm/min. Se registraron los valores de fuerza y el desplazamiento.

5. Distribución de presión

Este experimento se llevó a cabo en la Universidad de Strathclyde en Glasgow, Gran Bretaña (Mata, 1999). Se utilizó el sistema de sensores para medir la presión dentro del calzado denominado F-Scan (Tekscan). Se utilizaron sujetos de distintos pesos, con calzado similar y plantillas nuevas del material evaluado. Se controló la velocidad de locomoción y la distancia recorrida fue de 10 metros. El sistema F-Scan se colocó entre la planta del pie y la plantilla.

Las presiones máximas dentro del calzado fueron recolectadas a 50 Hz. Además, a cada sujeto se le cuestionó acerca del nivel de confort de cada material.

6. Estructura

Los materiales poliméricos en forma de probeta se cortaron perpendicularmente y sus áreas transversales fueron fotografiadas utilizando un microscopio electrónico de barrido, MEB (SEM, por sus siglas en inglés, JOEL JSM-840^a).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La importancia de las pruebas de compresión radica en que es un indicador de la forma en que el material se va a acoplar a la anatomía del pie (Rome, 1998).

En la Figura 1, se muestra la relación presión-desplazamiento de los materiales. Para la distribución de presión, los resultados esperados indicarían que el material al comprimirse se desempeña, en la mayoría del desplazamiento, en la parte horizontal del gráfico, especialmente a altas presiones. Entre más alta sea la pendiente en un punto determinado, más rígido se comportará el material, resultando en mayores presiones. Sin embargo, a bajas presiones, es recomendable un material más rígido. La Figura 2 muestra el desplazamiento de los materiales cuando son comprimidos por una presión de 280 kPa.

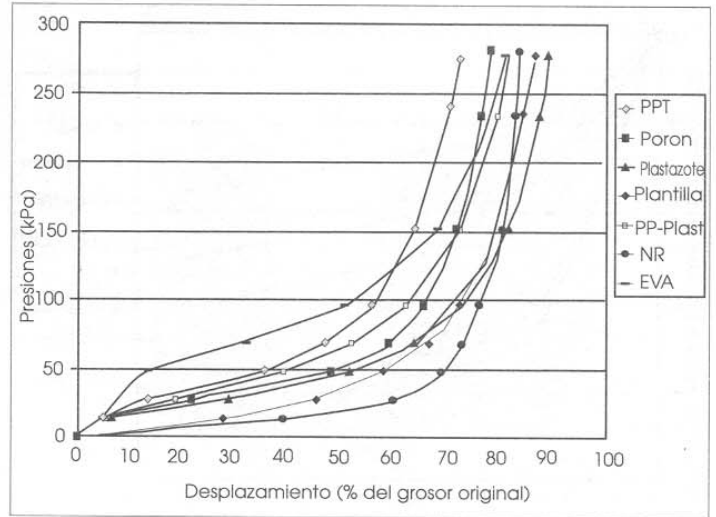


Figura 1. Comportamiento de los materiales al ser presionados hasta 280 kPa durante el experimento de compresión

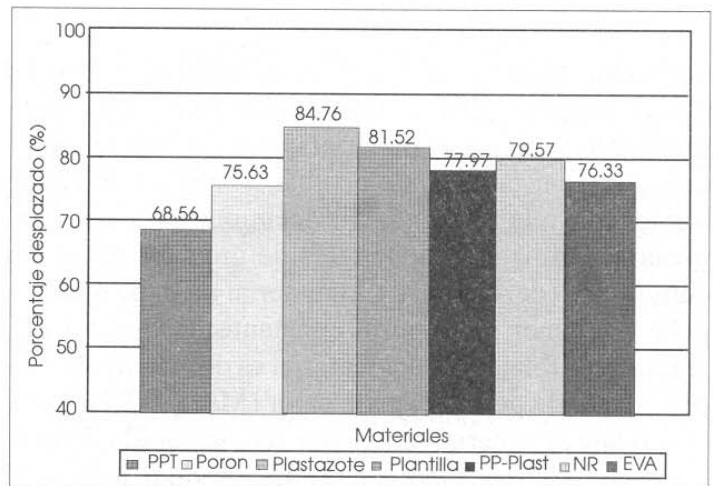


Figura 2. Desplazamiento con respecto al grosor original de los materiales al ser presionados hasta 280 kPa

De ambas figuras es importante notar que el Plastazote, aún a desplazamientos mayores que el resto de los materiales, es decir más compactado, tiene una pendiente similar al PPT, Poron y PPT-Plast. El material Plantilla se comporta similarmente; sin embargo, a bajas presiones es menos rígido.

Otro dato importante es la manera en que el material relaja al ser sometido a un desplazamiento constante. Esto es similar a someter el material a una presión constante y observar la forma en que el material cambia su grosor, fenómeno que ocurre cuando el paciente está estáticamente de pie.

De la Figura 3 se puede ver la manera en que los materiales relajan al ser sometidos al desplazamiento

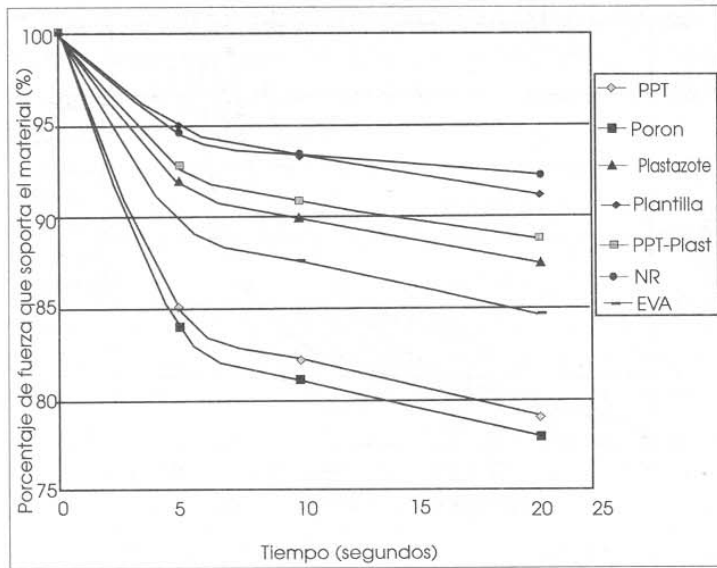


Figura 3. Relajación de las fuerzas ejercidas por el material a los 5, 10 y 20 segundos. Inicialmente se comprime a 280 kPa, se mantiene el desplazamiento constante y se leen las fuerzas de reacción

constante. Si lo que se busca es un material que relaje con el tiempo, el PPT y Poron son los indicados, mientras que si se busca un material que mantenga el soporte lo más constantemente posible, el NR y el Plantilla son los que relajan menos. Es decir, que para distribuir presiones utilizando materiales de grosores pequeños como estos (de 4 a 8 mm), el material no debe relajar y debe mantener un soporte constante debajo del pie. Además, la relajación del material es directamente proporcional a la generación de calor (Mata, 1999). Entre más relaje el material, más calor será generado. Esto es importante, sobre todo cuando hay heridas o úlceras, en donde la temperatura debe ser controlada.

Por otra parte los análisis de recuperación y durabilidad de estos materiales es muy importante debido a que indica cuánto tiempo el material mantendrá su elasticidad, estructura y resistencia a la compresión luego de ser presionado cíclica o constantemente durante un tiempo determinado (ASTM, 1992a).

La mayoría de estos materiales cuando están recién producidos presentan propiedades de distribución de presión relativamente similares y satisfactorias. Sin embargo, con el tiempo, sus propiedades se van degradando y, consecuentemente, las presiones van creciendo. En casos neuropáticos, las presiones pueden llegar a ser peligrosamente altas y el paciente nunca lo notaría. En la Figura 4 se observan los valores de "compression set", CS, la compresión dada o pre-establecida, que fueron obtenidos mediante la expresión:

$$CS(\%) = \frac{T_0 - T_f}{T_0} * 100 \quad (1)$$

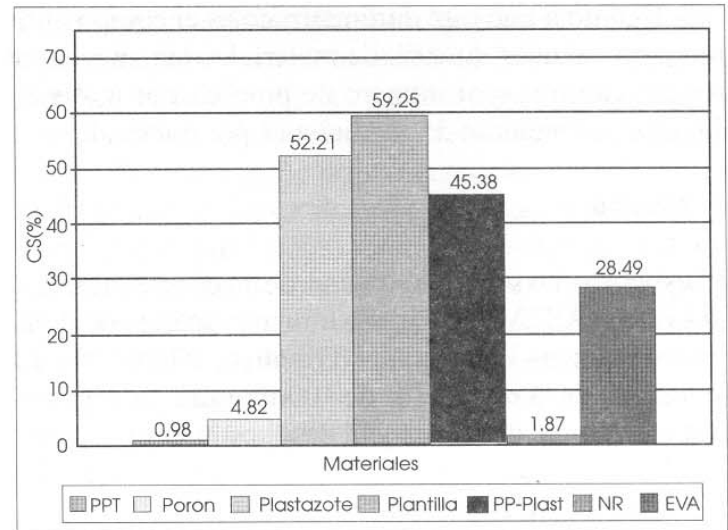


Figura 4. Valores de CS durante el experimento de recuperación y durabilidad. Entre mayor el valor de CS, mayor la tendencia del material a perder su estructura y propiedades con el uso

donde T_0 es el grosor original de la muestra y T_f es el grosor final de la muestra.

Entre más bajo sea el valor de CS, más tiempo mantendría el material su estructura y el soporte de la planta del pie y, consecuentemente, serán más duraderos. Por lo tanto, como se observa en la Figura 4, materiales como el Plastazote, la Plantilla y el PPT-Plast tienden a perder sus propiedades de soporte más rápidamente que los demás materiales evaluados.

En los análisis de dureza, es posible tener una idea relativa de la facilidad con la que se acoplará el material a la anatomía del pie. Los resultados presentados en la Figura 5 pueden ser corroborados y comparados

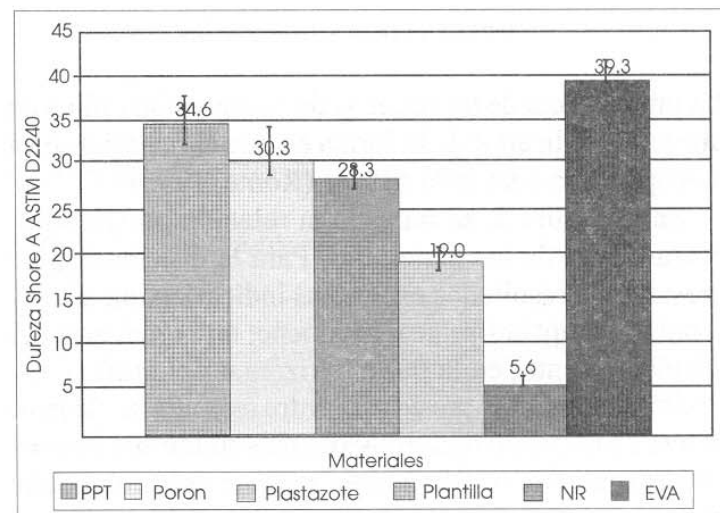


Figura 5. Dureza de los materiales (Mientras más duro es el material, más resistente es a la penetración)

con los resultados de compresión de la Figura 1. A bajas presiones, la dureza es directamente proporcional a la rigidez, teniendo de más duro a más suave: EVA, PPT, Poron, Plastazote, Plantilla y NR. Un material muy suave, como el NR, se acoplará más fácilmente al pie, tendrá mayor cantidad de área de contacto, posiblemente sea más cómodo, pero presentará presiones más altas que materiales más duros y rígidos (Mata, 1999).

En las pruebas de tensión no fue posible obtener mucha información acerca del carácter biomecánico del material para aplicaciones de plantillas. Sin embargo, estas pruebas dan un indicio del comportamiento del material en cuestión bajo una tensión aplicada. La fuerza y el desplazamiento a los que el material rompe (Tabla 2), indican la resistencia y elasticidad de los materiales poliméricos bajo un esfuerzo de tensión. Es importante señalar la marcada diferencia del NR con respecto a los demás materiales, con casi un 537% de extensión. El material Plantilla no fue analizado debido a que está recubierto por un material sumamente fuerte en tensión y esto causa desviaciones importantes no asociadas con el material evaluado.

El análisis de la distribución de presión es uno de los experimentos más funcionales en lo que respecta a la distribución de presiones. Esto es un indicio de lo que sucede dentro del calzado durante la locomoción. Sin embargo, por esta misma razón, es el experimento en donde existen más variables, tales como la anatomía del pie, el peso, la manera de caminar, la forma y estructura del zapato y la velocidad de caminar. Todos son parámetros que varían de persona a persona e intervienen en los resultados de presión y área de contacto en la planta del pie.

Se midieron las presiones máximas, definidas como la fuerza dividida entre el área en el instante en que esta operación fuera mayor. Esta presión es la máxima presión durante un paso y se tomó el promedio de seis pasos. Los resultados obtenidos del experimento no pre-

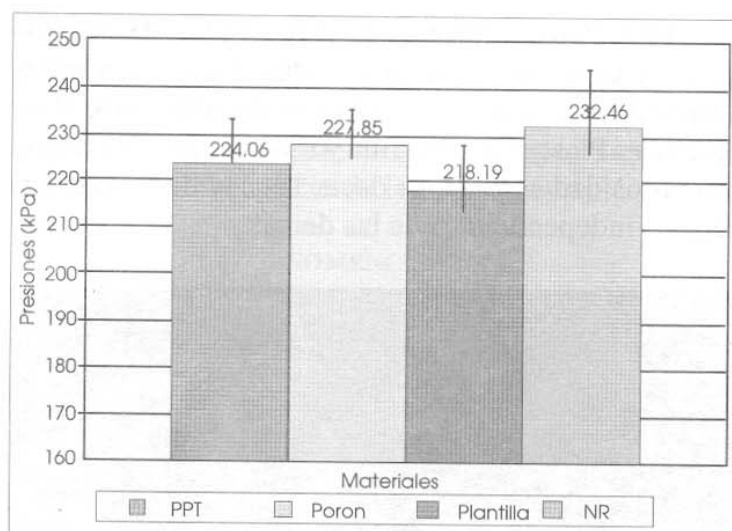


Figura 6. Presiones máximas debajo de la planta del pie caminando con el sistema F-Scan y plantillas de cada material

sentaron un patrón definido de la distribución de presión de los materiales. Algunos materiales mostraron presiones bajas para unos sujetos, mientras que para otros mostraron presiones altas en comparación con los materiales restantes. Sin embargo, luego de hacer un promedio de los valores de cada paso se obtuvieron los resultados mostrados en la Figura 6. No obstante, se deben interpretar en forma cuidadosa ya que, por un lado, los resultados obtenidos están dentro de las barras de error y, por otro lado, los estudios demuestran que el sistema F-Scan presenta errores hasta de 15 o 20% (Ahroni y col., 1998). Finalmente, a la pregunta de cuál material sentían más cómodo y confortable, 7 de los 9 sujetos en estudio contestaron que el NR.

Para el estudio de la estructura del material polimérico, con la microscopía electrónica de barrido, los resultados obtenidos permitieron observar los dos tipos de organización estructural asociadas con los materiales, es decir, porosidad abierta y cerrada.

Tabla 2. Resultados de fuerza, desplazamiento y su respectiva desviación estándar (σ) al momento de ruptura durante el experimento de tensión

	PPT	Poron	Plastazote	PPT-Plast*	NR*	EVA
Fuerza $\pm \sigma$ (N)	25.0 \pm 1.8	44.3 \pm 1.1	32.8 \pm 0.5	39.5 \pm 2.7	32.3 \pm 2.1	27 \pm 0.6
Desplazamiento $\pm \sigma$ (mm)	110.89 \pm 11.16	169.4 \pm 4.15	164.37 \pm 7.45	115.65 \pm 2.44	536.6 \pm 32.94	147.26 \pm 11.83

* Nombre adoptado por los autores

El PPT, Poron y NR muestran porosidad abierta (Figura 7a), es decir, muestran cavidades que están interconectadas entre sí y permiten el paso del aire. Los materiales Plastazote, Plantilla y EVA (Figura 7b) muestran porosidad cerrada, es decir, las cavidades son cerradas e independientes de las demás.

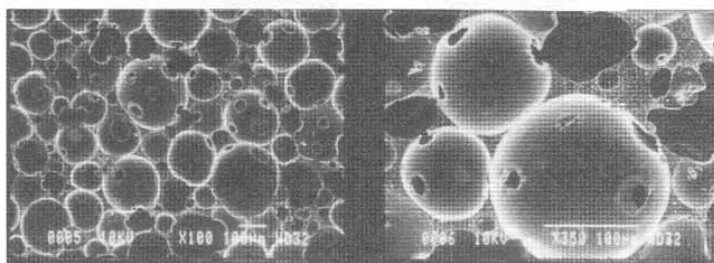


Figura 7a. Porosidad de los materiales en estudio (PPT, Poron y NR) de tipo abierto

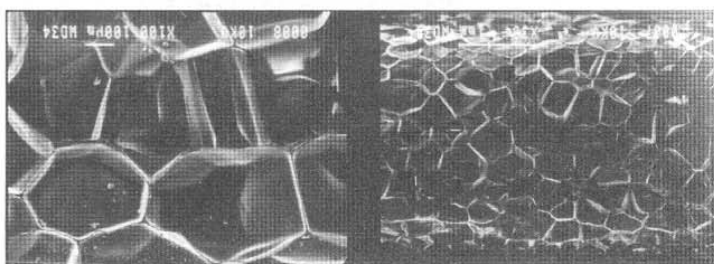


Figura 7b. Porosidad de los materiales en estudio (Plastazote, Plantilla y EVA) de tipo cerrado

CONCLUSIONES

De la Figura 6, se puede observar que el NR, material que muestra presiones más altas en la planta del pie, es también el material más suave (Figura 5) y menos rígido (Figura 1). De esta última figura, se puede observar que, de 0 a 50 kPa, el material es muy poco rígido y se acomodaría muy fácilmente a la anatomía del pie, más de lo requerido para distribuir adecuadamente las presiones. De 60 kPa a 280 kPa, el material muestra la mayor pendiente y se desplaza tan sólo un 13% de su grosor original, lo cual indica que luego de 60 kPa el material cedería muy poco o acomodaría poco a la anatomía, mientras las presiones crecerían drásticamente. No obstante, es un material que debido a su valor de CS (Figura 4), mantendría su estructura y propiedades luego de ser utilizado por un tiempo relativamente largo.

El material denominado Plantilla tiene desplazamiento (Figura 2), dureza (Figura 5) y rigidez de 0 a 100

kPa similares al NR (Figura 1). Podría predecirse una distribución de presión similar a la del NR, aunque de 60 a 280 kPa cuenta con una pendiente menor y con alrededor de un 21% de desplazamiento con respecto a su grosor original (Figura 1). Sin embargo, debido a su valor de CS (Figura 4), perdería sus propiedades más rápidamente. Tanto el NR como el Plantilla presentan los valores más bajos y la menor tendencia a relajar una vez comprimidos (Figura 3).

El PPT y el Plastazote son los materiales que mejor distribuyen presiones (Figura 6). Una de las razones que pueden explicar este comportamiento es que el PPT es más duro (Figura 5) y más rígido (Figura 1), con aproximadamente un 30% de desplazamiento de 60 a 280 kPa. No obstante, es el material que menos se desplaza a 280 kPa, con sólo un 68% de su grosor original, posiblemente por su alta densidad (de 0.395 g/cm³). El Plastazote es relativamente duro, de rigidez intermedia y cuenta con el mayor desplazamiento a los 280 kPa, de casi un 85%. De igual forma, esto puede ser explicado por su baja densidad (de 0.04 g/cm³). De la Figura 4, el PPT muestra la menor tendencia a perder sus propiedades, mientras que el Plastazote es un material que perdería su estructura más rápidamente. No obstante, el PPT es un material que relaja más rápido que el Plastazote. Un compromiso entre esta rigidez y durabilidad del PPT y el desplazamiento del Plastazote puede ser la clave para una mayor y más duradera distribución de presión. El PPT-Plast teóricamente cuenta con esta mezcla de propiedades. De la Figura 2 se puede observar que tiene un desplazamiento de casi 78%, mientras que en la Figura 1 se ve que es más rígido que el Plastazote y cuenta con un desplazamiento similar a éste de 60 a 280 kPa, con casi un 30%. Además, es un material ligeramente más duradero que el Plastazote (Figura 4).

El EVA es un material duro y rígido y, debido a que de 60 a 280 kPa se desplaza casi un 60% de su grosor original, se cree que podría distribuir altas presiones satisfactoriamente. Además, a 280 kPa, cuenta con un desplazamiento medio entre el Plastazote y el PPT (Figura 2), una relajación media (Figura 3) y tiene mayor durabilidad que el Plastazote y el PPT-Plast.

El Poron es un material duradero con desplazamiento, dureza y rigidez intermedias, entre el PPT y el Plastazote. Es el material de mayor relajación.

Tomando en cuenta los resultados relacionados a distribución de presiones, se puede concluir que los materiales rígidos como el PPT disminuyen presiones máximas debido al soporte significativo en el área alrededor del punto de mayor presión. A esto se le suma la importancia de que el material sea capaz de desplazar y ceder, especialmente a altas presiones. Por ejem-

plo, si se define un área circular X de presión máxima de aproximadamente 15 mm de diámetro, debajo del primer metatarso, el material de la plantilla justamente debajo del área X, debe ceder y desplazarse lo más posible. Asimismo, el área del aro Y alrededor de X debe ser suficientemente rígida para soportar y distribuir la presión a que está sometida el área X (Mata, 1999). Una forma alternativa de lograr este efecto es fabricar una plantilla compuesta de materiales suaves justo debajo de los puntos de máxima presión, mientras que en las áreas aledañas se utilicen materiales más duros y rígidos.

Estudios previos han sugerido que los materiales de porosidad abierta sufren menos pérdida de estructura y son más duraderos que los materiales de porosidad cerrada (Rome, 1998). Esto es comprobado por los experimentos de recuperación y durabilidad (Figura 4) en donde los tres materiales de porosidad abierta tienen valores mucho menores que los de porosidad cerrada. Se puede inferir que la forma ortogonal de los poros del Plastazote, EVA y Plantilla (Figura 7b) son propicios para presentar puntos de mayor concentración de fuerzas. Estas pueden romper el poro y así limitar la recuperación del material. La forma redonda de los poros de PPT, Poron y NR (Figura 7a) distribuyen más uniformemente las fuerzas por todo el poro y consecuentemente son menos propicios a romperse.

Se debe considerar que, debido al carácter viscoelástico de estos materiales, la velocidad con que se aplique una determinada presión aumenta la rigidez del material (Rome, 1998). A altas velocidades de locomoción, los materiales muy duros y rígidos pueden comportarse demasiado rígidos y causar presiones altas.

Es importante mencionar que, con base en los resultados, la comodidad de una plantilla no está necesariamente relacionada con las presiones bajas. Durante el experimento de distribución de presiones, utilizando el F-Scan, 7 de los 9 sujetos sintieron al NR más confortable que el resto de los materiales. El NR es el material más suave y menos rígido y, probablemente, aunque se desplace menos que el Plastazote, sea el de mayor área de contacto con la planta del pie. Sin embargo, esta área de contacto no es significativa, no distribuye presión y produce un sentimiento de suavidad y acoplamiento que puede ser ilusorio. De igual forma, se estima que el Plantilla, material utilizado en gran cantidad en Costa Rica, es un material que además de perder sus propiedades rápidamente, no es un material recomendable para distribuir presiones, como lo son el PPT y el Plastazote.

Como se podrá observar, la selección de un material para ser utilizado como plantilla ortopédica no es un proceso fácil. Con los materiales actuales, se deben sacrificar algunas propiedades positivas para obtener

otras. Sin embargo, debido a esta dificultad y a la poca investigación previa en este campo, se estima que los resultados obtenidos pueden aportar valiosa información durante la selección de este tipo de materiales y, más importante, al beneficio de los pacientes.

NOMENCLATURA

CS	Del inglés "compression set", compresión establecida
EVA	Copolímero de etileno y acetato de vinilo (Siglas en inglés, por ethyl-vinyl acetate)
MEB (<i>SEM</i>)	Microscopía electrónica de barrido (Siglas en inglés, por <i>scanning electronic microscopy</i>)
HN, NR	Hule natural (NR, por <i>natural rubber</i> en inglés)
Plastazote, Plantilla	Marcas comerciales de polietileno
PPT, Poron	Marcas comerciales de poliuretanos
PPT-Plast	Lámina formada en un tercio de su grosor por <i>PPT</i> y en los dos tercios restantes por <i>Plastazote</i> , utilizada principalmente en los Estados Unidos de América
T_o	Grosor original de la muestra
T_f	Grosor final de la muestra

AGRADECIMIENTOS

Al Laboratorio de Polímeros, POLIUNA, de la Escuela de Química de la Universidad Nacional de Costa Rica, al laboratorio de Resintech S.A de Costa Rica, al Instituto Americano del Pie, Ross Fraser Inc. (Glasgow, Gran Bretaña) y Algeo (Liverpool, Gran Bretaña) por el apoyo financiero y logístico brindado a esta investigación. Por su aporte científico, a los médicos Dr. Luis C. Ramírez Z, Dra. Ana C. Chan y Dr. Walter Arguedas M. Finalmente, al Dr. Daniel Azofeifa por haber hecho posible la realización del estudio. Los autores agradecen a los Laboratorios Resintech S.A., por el uso del durómetro manual (marca Shore Instron) de escala A, usado en las pruebas de dureza.

REFERENCIAS

- Ahroni, J.H.; Boyko, E.J. y Forsberg, R. 1998. *Reliability of F-Scan Measurements of Plantar Pressure*. *Foot and Ankle Intl.*, 19(10):668-669.
- ASTM. 1992a. *Standard Test Methods for Rubber Property-Compression Set*. *Annual Book of ASTM Standards*. ASTM D 395-89. Pp. 34-38.
- ASTM. 1992b. *Standard Test Methods for Rubber Properties in Tension*. *Annual Book of ASTM Standards*, ASTM D 412-87. Pp. 39-45.
- ASTM. 1992c. *Standard Test Methods for Rubber Properties in Compression*. *Annual Book of ASTM Standards*. ASTM D 575-88. Pp. 105-107.

Foto, J.G. y Birke, J.A. 1998, *Evaluation of Multidensity Orthotic Materials Used in Footwear for Patients with Diabetes*. *Foot and Ankle Intl.*, 19(12):836.

Mata, A. 1999. *A Novel Form of Natural Rubber Foam for the Prevention and Treatment of the Diabetic Foot*. Tesis de Maestría, University of Strathclyde, Glasgow, Gran Bretaña.

Pitei, D.L.; Ison, K.; Edmonds, M.E. y Lord, M. 1996. *The Behavior of a FSR Plantar Pressure Measurement Insole*. *Mech. Engrs. (H)*, 210(2):121-125.

Rome, K. 1998. *Orthotic Materials: A Review of the Selection for The Diabetic Foot*, 1:16-19.