
Características mecánicas de uñas acrílicas en el toque de guitarra

F. Ramírez, M. Félix, A. Romero*, A. Guerrero

Departamento de Ingeniería Química, Universidad de Sevilla, Facultad de Química, 41012 Sevilla, Spain

Mechanical properties of acrylic nails in the guitar playing

Característiques mecàniques d'ungles acríliques en el toc de guitarra

Recibido: 23 de septiembre de 2014; aceptado: 2 de febrero de 2015

RESUMEN

Los guitarristas sufren un importante desgaste en el contacto de las uñas con las cuerdas de la guitarra y concretamente con las tres cuerdas superiores de latón. Actualmente se colocan uñas llamadas de “porcelana”, o uñas esculpidas, las cuales dan un resultado aceptable en el apartado durabilidad, además de aportar un sonido aceptable. Sin embargo, en este trabajo se pretende medir las sollicitaciones que tiene la uña de Poli[metacrilato de etilo] (PEMA) del guitarrista bajo la acción del toque de guitarra, ya que en este tipo de toque la uña está sometida a bastante más tensión de lo habitual. Se parte de distintas formulaciones de PEMA y se ensaya el material para intentar imitar el movimiento natural de la uña y así cuantificar las sollicitaciones mecánicas en el uso de la misma. Se concluye que es necesario una alta proporción de iniciador y PEMA para obtener una uña con adecuadas propiedades mecánicas y de desgaste.

Palabras claves: Abrasión; dureza shore; poli[metacrilato de etilo]; propiedades mecánicas; uña.

SUMMARY

Guitar players are subjected to a significant nail wear in contact with strings of the guitar and, particularly, with the top three strings made of brass. Nowadays, porcelain nails or sculptured nails are used, which provide an acceptable durability as well as an appropriate sound. However, the goal of this work is to evaluate the requirements by Poly(ethyl methacrylate) nails under the particular action of playing the guitar subject to more stress than usual. Different

PEMA formulations are tested in order to attempt to simulate the natural movement of the nail and, as a consequence, to quantify the mechanical stresses on the use of it. We conclude that a high proportion of initiator and PEMA are necessary to obtain a nail with appropriate mechanical and wear properties.

Keywords: Abrasion; shore hardness; poly(methyl methacrylate); mechanical properties; nail.

RESUM

Els guitarristes pateixen un important desgast en el contacte de les ungles amb les cordes de la guitarra i concretament amb les tres cordes superiors de llautó. Actualment es col·loquen ungles trucades de “porcellana”, o ungles esculpides, les quals donen un resultat acceptable en l'apartat durabilitat, a més d'aportar un so acceptable. No obstant això, en aquest treball es pretén mesurar les sol·licitacions que té l'ungla de Poli [metacrilat d'etil] (PEMA) del guitarrista sota l'acció del toc de guitarra, ja que en aquest tipus de toc l'ungla està sotmesa a bastant més tensió de l'habitual. Es parteix de diferents formulacions de PEMA i s'assaja el material per intentar imitar el moviment natural de l'ungla i així quantificar les sol·licitacions mecàniques en l'ús de la mateixa. Es conclou que cal una alta proporció d'iniciador i PEMA per obtenir una unglia amb adequades propietats mecàniques i de desgast.

Paraules claus: Abrasió; duresa shore; poli [metacrilat d'etil]; propietats mecàniques; unglia.

*Autor para la correspondencia: alromero@us.es

INTRODUCCIÓN

El guitarrista y el guitarrista flamenco, en particular, sufre un desgaste bastante importante en las uñas que están en contacto con las cuerdas de la guitarra, y concretamente con las tres cuerdas superiores con entorchado de latón. Tanto es así, que a lo largo de la historia, los desafortunados guitarristas que tienen uñas "blandas", han ideado técnicas para proteger las uñas del desgaste producido por la abrasión de las propias cuerdas. Actualmente se colocan uñas llamadas de "porcelana", o uñas esculpidas, las cuales dan un resultado aceptable en el apartado de durabilidad, además de aportar un sonido aceptable. Sin embargo, desde hace años se han utilizado uñas acrílicas, principalmente con un objetivo cosmético [1] con lo cual se abre la posibilidad de utilizarlas también para el toque de guitarra.

Los polímeros metacrílicos, principalmente representados por el Poli[metacrilato de metilo] (PMMA), han sido producidos industrialmente desde 1930. La historia y el desarrollo de esta familia de polímeros se asocian al químico Otto Röhm [2]. En 1932, Röhm y su colaborador W. Bauer fueron los primeros en polimerizar el metacrilato de metilo (MMA) en forma de lámina transparente. Casi en paralelo, Röhm y Haas en Alemania, Du Pont en Estados Unidos e ICI (Imperial Chemical Industries) en Inglaterra, estuvieron desarrollando este polímero. Pocos años después comenzó a producirse el primer compuesto termoplásticamente moldeable [3].

El PMMA es el polímero más representativo de entre los de su clase, ocupando una posición intermedia entre lo que se podría llamar "materia prima" y los "polímeros de alta tecnología" o "plásticos de ingeniería". El mercado total de vidrio acrílico en Europa es de aproximadamente 53.000 t/a. En 2010, la producción mundial de PMMA excedió los $1.6 \cdot 10^6$ t/a con aproximadamente un 60% del mercado en Asia y un 20% en América del norte y Europa [4]. Sobre el 50% de esta cantidad es utilizada para procesos adicionales de la creación de vidrios acrílicos y componentes moldeados de PMMA; la cantidad restante es distribuida como pinturas, adhesivos, aditivos, etc. [5]. El PMMA presenta un amplio intervalo de aplicaciones en acristalamientos, revestimientos horizontales, maquinaria e instrumentación, vehículos, etc. Su aplicación en alimentación es también interesante debido a su transparencia, y sobre todo, a su ausencia de sabor y olor transferible a los alimentos. Componentes ópticos como lentes, reflectores y prismas también comprenden el campo de aplicaciones del PMMA [6]. Las propiedades que hacen a los polímeros metacrílicos unos plásticos tan preciados son su resistencia mecánica, sus propiedades ópticas y su extremadamente buena resistencia a la intemperie. Estas propiedades pueden ser mejoradas modificando la superficie con productos semiterminados, colorantes, pigmentos y tratamientos retardantes al fuego [7] así como actualmente para proporcionar superficies modificadas con propiedades superhidrofóbicas y/o superhidrofílicas [8]. Otros polímeros metacrílicos como el Poli[metacrilato de etilo] (PEMA) o el Poli[metacrilato de butilo] (PBMA) son producidos en cantidades muy inferiores, habiendo sido utilizados principalmente en uñas y dentaduras postizas [1]. De hecho, el PEMA podría sustituir al PMMA en muchas de estas aplicaciones. Sin embargo, dicha sustitución solo se justifica en aquellos casos en los que existen restricciones para el uso del PMMA o de su monómero, ya que este último resulta más económico [9]. En el caso

de uñas originalmente se utilizó el monómero, el cual es un fuerte sensibilizador y puede causar dermatitis alérgica. Este hecho hizo que se utilizara el PMMA y PEMA en polvo [10].

El objetivo general de este trabajo es medir las sollicitaciones que tiene la uña de PEMA del guitarrista bajo la acción del toque. Para ello, se parte de una marca comercial determinada y, posteriormente, se combinan distintas formulaciones en la fabricación de PEMA. A continuación, se ensayan los materiales obtenidos imitando, en la medida de lo posible, el movimiento natural de la uña y cuantificar las sollicitaciones mecánicas durante el uso. Finalmente, a partir de los resultados se concluye con la formulación más idónea para la aplicación que se ensaya.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Para la preparación de las probetas, se parte de un preparado para uñas de porcelana de la marca "Súper Nail" que consta de dos componentes presentados en distinto formato: un polvo blanco (P), constituido por: PEMA, PMMA y peróxido de benzoilo, además de un líquido violeta (L) que consta de metacrilato de etilo, dimetiltoliamina y Violeta 2 (CI 60725). El material polimerizado previamente presente en el polvo, tiene la ventaja de reducir la contracción, la cantidad de calor disipado, el tiempo de inducción y el tiempo de iniciación. En cuanto a las formulaciones estudiadas se han seleccionado, tras un estudio previo, dos formulaciones líquido (L)/polvo (P): 2/1 y 2/3, respectivamente.

Preparación de la muestra

Se prepara mediante la mezcla manual de componentes que permite la polimerización vía radical del metacrilato de etilo utilizando como iniciador el peróxido de benzoilo [11], evitando la formación de burbujas. Además, como medios nucleantes se emplearán las partículas finas de PEMA y PMMA, que quedan disueltas en la mezcla al tratarse de un polvo extremadamente fino. Junto a eso se añade dimetiltoliamina, que se añade al compuesto para desactivar el proceso oxidativo a través de la formación de hidroperóxidos por combinación en los radicales libres y la subsiguiente degradación de la uña. Una vez mezclados, se vierte en el molde y se espera 5 o 20 minutos hasta que finaliza la polimerización, según la formulación. Finalmente, se lija la parte superior de la muestra y se saca el molde.

Ensayos reológicos de cizalla

Con objeto de estudiar la cinética de la polimerización del PEMA, se determinan las propiedades viscoelásticas lineales mediante ensayos de cizalla oscilatoria con baja amplitud de deformación (SAOS) en un equipo de deformación controlada ARES (TA Instruments, USA). La temperatura se controla mediante un sistema Peltier conectado a un baño termostático. Los sistemas sensores utilizados son del tipo placa-placa con un diámetro de 40 mm, una distancia entre placas (gap) de 1 mm y superficie rugosa para evitar fenómenos de deslizamiento. Los ensayos realizados son:

Barrido de deformación entre 0,01-1% de deformación para determinar el intervalo viscoelástico lineal a una frecuencia de 1 Hz a 25°C [12].

Barrido de tiempo: Se llevan a cabo barridos de tiempo durante 1800 s, a una deformación inferior a la deformación crítica, a 1 Hz de frecuencia y a 25°C. Se registran

los valores de los módulos elásticos (G') y viscoso (G'') así como los valores de temperatura a lo largo del tiempo para controlar la reacción de polimerización del PEMA.

Análisis Termomecánico Dinámico (DMTA)

Se emplean ensayos de DMTA para poder medir la respuesta del material al ser sometido a deformaciones de flexión, determinando las propiedades viscoelásticas de las probetas en su intervalo viscoelástico lineal y así obtener información relacionada con su microestructura. Estos ensayos se realizan con un reómetro RSA3 de TA Instruments (USA). El ensayo se ha realizado a temperatura ambiente (25°C), por ser la temperatura real del material en uso. Con el objeto de medir las características mecánicas de la probeta desde su vertido hasta su polimerización total, se ha llevado a cabo el ensayo en dos etapas: una primera etapa de 8 horas, seguida por un periodo de espera de 12 horas, en el que se produce el avance de las reacciones de polimerización en el caso de que no se hayan completado y una etapa final de 2 horas más en las mismas condiciones para comprobar si la evolución de propiedades ha finalizado.

Las mediciones se hacen utilizando la geometría "dual cantiléver" en la que las probetas se sujetan por los extremos mientras se someten a flexión en el centro, aplicando de este modo una oscilación a la muestra, a una frecuencia prefijada (1 Hz). Estos ensayos siguen la norma ASTM D5023 [13] empleando con dimensiones de 60x10x3 mm y una deformación dentro de la región viscoelástico lineal (0,5 % de deformación). Se registran los valores de los módulos elásticos (E') y viscoso (E'') en función del tiempo.

Ensayos de tracción

Se realizan ensayos de tracción mediante elongación de la muestra hasta la ruptura de las probetas, de acuerdo a la norma ISO 527-2:2012 [14], empleando la máquina de ensayos universal "Insight" 10 kN de MTS (USA). Durante el ensayo se mide carga y desplazamiento en función del tiempo. Los ensayos de tracción se realizan sobre al menos 4 especímenes por sistema, empleando probetas definidas por la norma ISO 527-2:2012 [14] y una velocidad extensional de 100 mm/min a temperatura ambiente.

Ensayo de dureza Shore D

Se han llevado a cabo ensayos de dureza Shore D en distintos puntos de dos probetas de cada dosificación. Los métodos estándar para la medición de la dureza de plásticos y gomas son Shore A y D especificado en las norma ISO-868 [15]. El método permite la medición de la penetración inicial, la penetración después de un periodo de tiempo determinado, o ambas. La dureza es inversamente proporcional a la profundidad de la penetración y depende del módulo de elasticidad y las propiedades viscoelásticas del material. La forma del penetrador, la fuerza aplicada y la duración del ensayo influyen en los resultados obtenidos. La carga es aplicada tan rápidamente como sea posible, sin golpe, y la lectura del valor de dureza se realiza después de 15 s.

Las mediciones se harán en ambas caras de las probetas ensayadas en un número de 5 indentaciones por cara para determinar un promedio de dureza y una desviación estándar característica de la misma.

Ensayos de abrasión o desgaste

Se ha diseñado un ensayo de abrasión o desgaste para evaluar el desgaste producido por la fricción en el entorchado de latón de la cuerda de guitarra intentando representar lo más fielmente posible el desgaste en la uña de PEMA. Para ello se han conformado probetas con forma

puntiaguda y se han sometidos al golpeo de la misma con una cuerda de una guitarra. La tensión de la cuerda se ha ajustado de tal modo que estuviera correctamente afinada y la frecuencia de golpeo ha sido de 1Hz. Se ha realizado a una frecuencia de 60 r.p.m. durante 47.5 horas, lo cual equivale a 160.000 repeticiones.

Los resultados se han basado en una medida del perfil inicial y el resultante después de la aplicación de ciclos. En cada muestra se han medido dos perfiles de la misma superficie de contacto para tener más datos disponibles teniendo en cuenta que la colocación de la muestra en el soporte y la posición de la aguja en el perfil se eligen arbitrariamente. Así, se debe tener en cuenta que siempre se está seleccionando un perfil distinto. Las mediciones se han hecho con un rugosímetro de contacto con aguja. El equipo empleado ha sido un Marca Mahr XCR 20 PCV350/33mm_2434_03 con una velocidad de avance de 0,20 mm/s. En cada perfil se han tomado datos de 15.000 puntos para caracterizar el perfil.

Análisis estadísticos

Se llevaron a cabo al menos tres replicados de cada medida usando análisis de varianza (ANOVA, $p < 0,05$) por medio del paquete estadístico SPSS 18. Las desviaciones estándares se calcularon para todos los parámetros seleccionados.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ensayos reológicos de cizalla

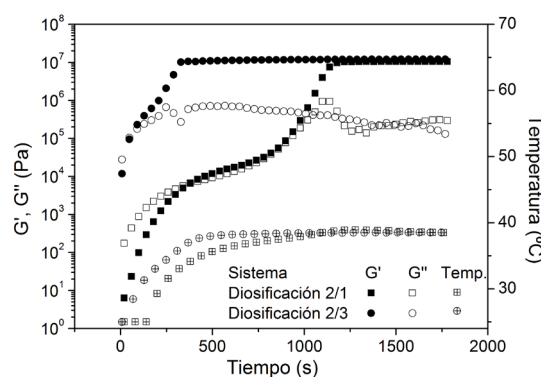


Figura 1. Evolución de los módulos elásticos (G'), viscosos (G'') y temperatura en función del tiempo durante el proceso de polimerización para las dos dosificaciones estudiadas (2/1 y 2/3).

Los ensayos de cizalla de baja amplitud (SAOS) nos muestran datos muy interesantes sobre la cinética de la reacción de polimerización del etilmetacrilato. En la figura 1 se puede observar la evolución de los módulos de almacenamiento (G') y viscoso (G'') frente a un tiempo de 1800 s. Además se ha registrado en este periodo la variación de temperatura experimentada por la muestra como consecuencia de la reacción de polimerización que tiene lugar. Para la dosificación 2/1 se puede apreciar un comportamiento inicial de carácter predominantemente líquido, en el que la componente viscosa de la respuesta viscoelástica, representada por G'' , es superior a la componente elástica, G' . Transcurridos unos 10 min desde el inicio del ensayo se produce un punto de corte entre G' y G'' que puede asociarse a una transición líquido-sólido a partir de la cual se produce un predominio de G' sobre G'' , siendo

este incipiente hasta los 1000 s y mucho más claro tras este periodo, intensificándose a medida que avanza la reacción de polimerización. Así, G' crece paulatinamente hasta una cota en la que permanece estable a partir de 1200 s aproximadamente. En este último tramo se observa un comportamiento típico de sólido elástico con valores de G' muy superiores a G'' . De hecho, la tangente del ángulo de desfase o tangente de pérdidas ($\tan \delta = G''/G'$) que es un índice de la contribución de ambas componentes, viscosa y elástica, evolucionan desde un valor aproximado de 7, al inicio del ensayo, a 0,03 al final del mismo (datos no mostrados). Durante este periodo también aumenta la temperatura de la muestra, que se posiciona en una cota de 39 °C en el mismo periodo de tiempo.

Para la dosificación 2/3, se puede observar que se produce la misma evolución que antes aunque de forma mucho más rápida, consiguiéndose el mismo resultado que en la dosificación anterior pero en un periodo de 300 s. La temperatura se mantiene estable, cercana a 39°C, por lo que el carácter exotérmico de la polimerización sólo se ve influido en su velocidad y no en su temperatura final para los distintos tipos de dosificación.

Los resultados obtenidos hacen pensar que la velocidad de la reacción de polimerización es directamente proporcional a la cantidad de peróxido de benzoilo existente en una dosificación concreta. Esto refleja el papel del peróxido de benzoilo como iniciador. Así, independientemente de la proporción inicial, a medida que transcurre la reacción el monómero EMA se convierte en el reactivo limitante, de tal forma que la reacción se detiene bruscamente cuando este es consumido. Una mayor proporción de iniciador favorece la cinética de reacción al aumentar la cantidad de radicales fenólicos necesarios para la reacción, pero no puede controlar su conversión final.

Análisis termomecánico dinámico (DMTA)

En el apartado anterior se ha estudiado la cinética de formación del PEMA en el propio sistema sensor del reómetro durante un periodo de 30 min. A continuación, se pretende observar si se produce una evolución de las propiedades de la probeta en una escala de tiempo superior, para estudiar el efecto importante del endurecimiento de las uñas postizas con el tiempo [16]. En la figura 2 se muestra la evolución del módulo elástico (E') y viscoso (E'') a lo largo del tiempo para las dos probeta ensayadas. Como puede observarse existen dos periodos; uno inicial de 8 horas, tras el cual se esperan 12 horas para retomar el ensayo durante dos horas más.

El tiempo desde la realización de la mezcla hasta el inicio del ensayo ha sido de 30 min para la dosificación 2/1 y de 5 minutos para la 2/3, ya que polimeriza antes, debido a que antes de este tiempo no es posible retirar la muestra del molde. Para la dosificación 2/1 puede observarse cómo el sistema experimenta una leve modificación de módulos en el primer periodo de 8 horas. Si bien no se detecta una clara evolución de E' , la respuesta viscosa sufre un leve descenso que se va atenuando a lo largo del tiempo, lo que se traduce un descenso de la tangente de pérdidas (se define como E''/E' , que se corresponde a un mayor predominio de la componente elástica. Además, se puede apreciar como ambas funciones presentan valores claramente superiores tras el periodo de reposo, aunque en ningún caso se detecta una posterior evolución con el tiempo.

En el caso de la dosificación 2/3, E' se mantiene estable a lo largo de las primeras 8 horas y tan sólo experimenta un ligero aumento tras el periodo de 12 h. Se puede observar

también que el carácter viscoso es mucho más estable que en dosificaciones inferiores de monómero. Así, E'' no muestra ninguna evolución significativa ni siquiera tras el tiempo de espera.

Una comparación entre los valores de E' de ambas gráficas pone de manifiesto un cierto aumento de los mismos al aumentar la dosificación de iniciador de la reacción, pero esta diferencia es mucho mayor en las dos primeras horas del ensayo. Por lo tanto, la diferencia principal entre los dos tipos de dosificaciones radica en la velocidad de la reacción de polimerización en las probetas que poseen mayores cantidades de monómero disuelto en la mezcla.

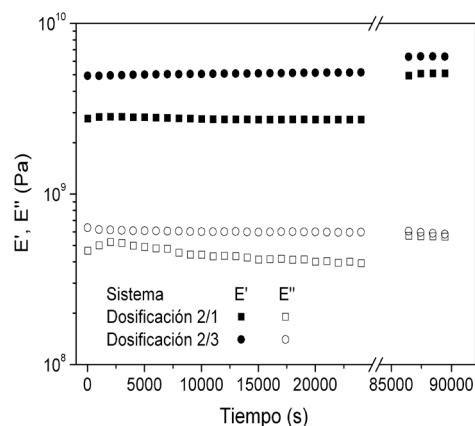


Figura 2. Evolución de los módulos elásticos (E') y viscosos (E'') durante las primeras horas tras el proceso de polimerización para las dos dosificaciones estudiadas (2/1 y 2/3).

Ensayos de tracción

Los ensayos de aplicación de carga estática son muy útiles para caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales poliméricos tales como su resistencia a la deformación o a la rotura. Por ello se han realizado ensayos de tracción hasta rotura con probetas tipo IV ASTM-D638 [17] para las dos proporciones L/P estudiadas. En la figura 3 se presentan los resultados obtenidos de las curvas tensión-deformación en ensayos de tracción para las probetas de dosificación 2/1 y 2/3. En la figura 3A se muestra la curva esfuerzo-deformación para ambos sistemas, en ella puede observarse que para ambos sistemas existe una extensa región lineal elástica, seguida de una zona elástica no lineal, de pendiente decreciente con la deformación, hasta que se alcanza un valor máximo de tensión elongacional (σ_{max}). Esta zona es seguida de un descenso típico de la formación de un cuello. La probeta 2/3 se rompe inmediatamente tras el inicio de este descenso, en tanto que la probeta 2/1 ofrece una mayor capacidad de deformación antes de la rotura.

En la figura 3B se puede observar los valores obtenidos para algunos parámetros de tracción a partir de la curva tensión-deformación obtenida: esfuerzo máximo (σ_{Max}), deformación máxima (ϵ_{Max}) y módulo de Young (E). Como puede observarse la mayor cantidad de iniciador de la dosificación 2/3 conduce a mayores valores del módulo de Young, calculado a partir de la pendiente de la región elástica lineal, mayores valores de tensión en el máximo, pero también a menores valores de la deformación máxima en el punto de rotura que las probetas 2/1. En consecuencia, las probetas 2/1 presentan mayor tenacidad, en tanto que las 2/3 resultan más rígidas y más frágiles, lo cual podría relacionarse con un mayor grado de entrecruzamiento.

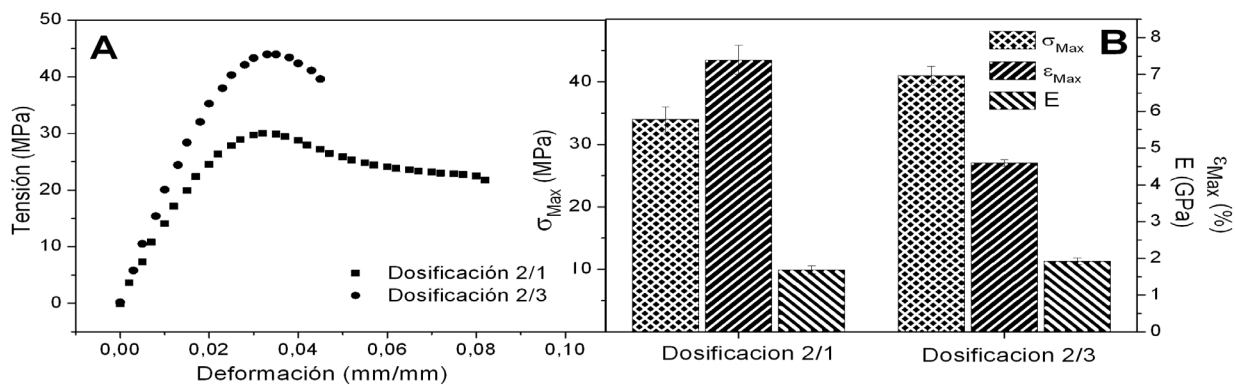


Figura 3. (A) Curvas de esfuerzo-deformación y (B) parámetros procedentes de los ensayos de tracción: esfuerzo máximo (σ_{Max}), deformación máxima (ϵ_{Max}) y módulo de Young (E) de los ensayos de tracción para las dos dosificaciones estudiadas (2/1 y 2/3).

Dureza Shore D

En la figura 4 se muestran los resultados de las indentaciones en las en las probetas para cada dosificación y en ambas caras de cada probeta, mitigando así la presencia de un gradiente de dureza: Así, mientras una cara es totalmente plana y uniforme por haber estado en contacto con la base del molde de acero (cara A), la otra es rugosa debido al lijado posterior al desmolde (cara B). Se puede observar que no hay una diferencia significativa entre las dos caras de las probetas, a pesar de que el acabado superficial de la muestra es diferente para la cara interna y externa al molde. Tampoco se han detectado diferencias significativas entre los dos tipos de dosificación. Si se atiende a tablas de caracterización de materiales [6] se puede decir que el material ensayado es un plástico catalogado como duro, llegando en la mayoría de los casos a una dureza Shore D de 80 sobre 100 como cota máxima.

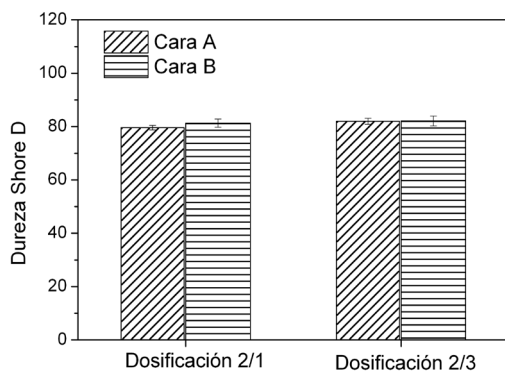


Figura 4. Valores de dureza shore D por las caras adversas (A) y reversa (B) para las dos dosificaciones estudiadas (2/1 y 2/3).

Ensayos de abrasión o desgaste

En el ensayo de desgaste se está sometiendo al material a ciclos repetitivos que generan un deterioro paulatino del polímero debido a un verdadero esfuerzo de fatiga. La fatiga es un esfuerzo que hace que un material falle mucho antes de llegar a su límite de rotura ya que va acrecentando paulatinamente defectos internos de la estructura, como pequeñas fisuras o grietas propias de la fabricación. Por lo tanto, será este ensayo el más determinante para evaluar al plástico estudiado en el toque de la guitarra. En la figura 5 se representan los datos del rugosímetro para cada probeta ensayada antes y después de aplicar-

les 160.000 ciclos. Cada posición X corresponde a un milímetro de avance horizontal sobre el perfil seleccionado para la medición. El eje de ordenadas indica la distancia que desciende el perfil en dirección vertical después del desgaste. Las longitudes están expresadas en milímetros. La representación gráfica está agrupada por perfiles (perfil A y perfil B), mostrando los resultados para ambas dosificaciones. En cada gráfica se puede observar el perfil sin desgaste, frente al mismo perfil después del desgaste. Así, el perfil sin desgaste tan sólo refleja la desviación que se produce en la superficie de la probeta con respecto a la línea horizontal virtual definida a partir de las muescas practicadas. En cambio, el perfil con desgaste refleja esa misma desviación junto al desgaste producido durante el ensayo. Por tanto, la distancia entre las dos líneas proporciona el valor atribuible al desgaste. La forma de cuantificar el desgaste total en las probetas ensayadas ha sido la suma de todos desgastes parciales en cada punto evaluado. De esta forma, se ha obtenido para las probetas 1/2 un desgaste de 1,98 mm, mientras que para la dosificación 2/3 se ha obtenido un desgaste de 1,43 mm. De estos resultados se extrae que las dosificaciones con una proporción más alta de polvo, es decir, iniciador y material nucleante en forma de pre-polímeros, son más resistentes a la abrasión que las de dosificaciones inferiores. Se ha podido observar un aumento del desgaste para la dosificación 2/1 del orden del 140% con respecto a la dosificación 2/3. Por lo tanto, en la aplicación específica del toque de la guitarra, dosificaciones más altas en polvo son más idóneas porque inciden menos en el desgaste de la uña.

No obstante, es necesario conocer la tensión a la que está sometida la uña durante el ensayo de desgaste. Para ello deben realizarse estimaciones de la fuerza de impacto y de la superficie de contacto. Para calcular la fuerza de impacto (F) se va a suponer, que la única energía que hace deformarse la cuerda es la energía cinética ($E_{cinética}$) que genera la masa en movimiento. Es decir, que la energía elástica ($E_{elástica}$) de deformación de la cuerda es igual a la energía cinética ($E_{cinética}$) de la probeta con su soporte. Esta deformación es la de la cuerda que es golpeada por la probeta.

$$E_{cinética} = E_{elástica} \quad (1)$$

Con lo que:

$$\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot k \cdot x^2 \quad (2)$$

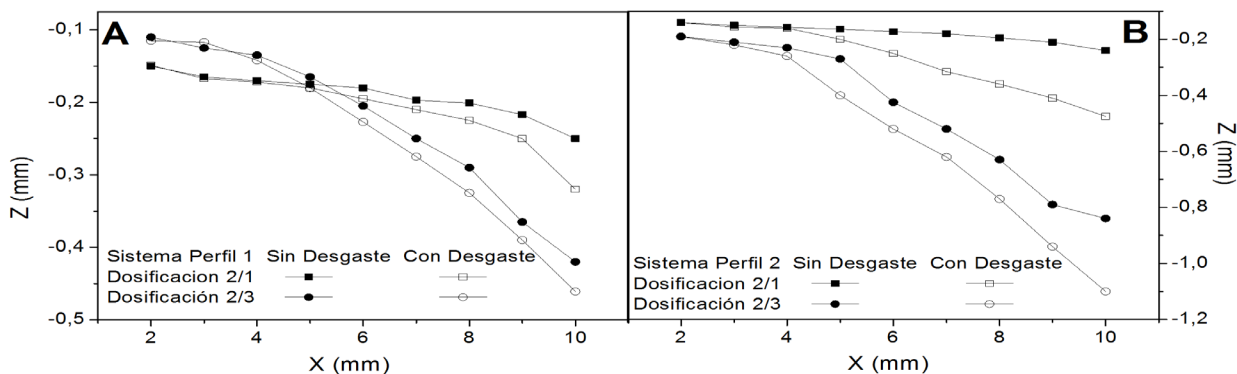


Figura 5. Representación de dos perfiles: (A) perfil 1 y (B) perfil 2, sin desgaste y con desgaste para las dos dosificaciones estudiadas (2/1 y 2/3).

Siendo,

$$F_{elástica} = -k \cdot x \quad (3)$$

Donde m = masa del sistema que golpea a la cuerda supelementalmente colocado en el extremo del brazo (0,197 kg); v = velocidad lineal calculada para una velocidad de rotación de 60 r.p.m. y un radio de giro de 15 cm (0,94 m/s); x = desplazamiento horizontal de la cuerda medido en el ensayo de desgaste (5 mm) y K = constante elástica de la cuerda. De esta forma se puede calcular la constante elástica de la cuerda (k) que resulta ser de 6,963 kg/s² y, por lo tanto, la fuerza (F) es igual a 34,8 N.

La superficie de contacto entre la cuerda y la uña se determina experimentalmente en el toque real de la guitarra, obteniéndose una superficie media de 3,85 mm². Por lo tanto, suponiendo que la guitarra sea tocada con la fuerza generada en el ensayo de abrasión, la uña estaría sometida, en el punto de contacto a una tensión de 9,05 MPa. Algunos autores han reportado gráficos en los que se muestran curvas de tensión frente al n° de ciclos a la rotura [6], pudiendo observar que los resultados se encuentran en la franja de "vida infinita a fatiga", es decir, que el material no va a romper por el esfuerzo de fatiga a esa tensión.

CONCLUSIONES

Después de haber sometido al PEMA a una variedad de ensayos mecánicos para intentar discernir su comportamiento se puede concluir que las uñas con las formulaciones presentadas pueden ser aplicadas como apósito en el dedo pulgar para el toque de la guitarra. Además, en concreto una mayor proporción de iniciador (peróxido de benzilo) favorece la cinética de reacción de polimerización al aumentar la cantidad de radicales fenólicos necesarios así como conduce a un aumento moderado de valores de sus propiedades mecánicas, lo que podría relacionarse a un mayor grado de entrecruzamientos.

A partir de los datos obtenidos mediante ensayos de flexión dinámica parece conveniente utilizar la dosificación con mayor relación L/P para evitar un periodo prolongado desde la colocación de la uña hasta su puesta en servicio. Desde el punto de vista de su comportamiento frente a una carga estática, la uña también debe estar compuesta por un PEMA de dosificaciones superiores en polvo, ya que aunque son más frágiles, en ningún caso se va a alcanzar su límite máximo de rotura, ni tampoco el límite necesario para producir deformaciones plásticas, estima-

do en torno a los 40 MPa. Esta tensión correspondería, teniendo en cuenta el área, a una fuerza sobre la cuerda para las condiciones de los ensayos realizados de 154 N, que es muy superior a las que se consiguen durante el toque de la guitarra.

Teniendo en cuenta que el factor que más afecta a la durabilidad de la uña es el desgaste, la dosificación que resulta óptima, por presentar una mayor resistencia a la abrasión, es de nuevo la que contiene una mayor proporción de polvo. Independientemente de la dosificación utilizada, se ha estimado que nuestra uña poseerá una "vida infinita a fatiga", siempre que no se supere una tensión determinada, por lo que las horas de práctica no serán un problema con respecto a esta característica.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo financiero del trabajo mediante el proyecto de investigación de la Junta de Andalucía (España) (TEP-6134) y del Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno español (MAT2011-29275-C02-02/01).

BIBLIOGRAFÍA

1. Kanerva, L., Henriks-Eckerman, M.L., Jolanki, R., Estalander, T., 1997. Plastics/Acrylics: Material Safety Data Sheet Need to Be Imporved. Clinics in Dermatology 15, 533-546.
2. Trommsdorff, E., 1976. Dr. Otto Röhm. Chemiker und Unternehmer. Econ, Düsseldorf.
3. Slone, R.V., 2007. Methacrylic Polymers, en Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology, 5th Edition - Volume 26. John Wiley & Sons, Inc.
4. Träxler, M., Ackermann, J., Juda, M., Hirsch, D., 2011. Polymethyl Methacrylate (PMMA). Kunststoffe international 10/2011, Carl Hanser Verlag, Munich.
5. Albrecht, K., Stickler, M., Rhein, T., 2012. Polymethacrylates, en Ullmann's Encyclopedia of industrial Chemistry Vol. 29. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim.
6. Callister, W.D., Rethwisch D.G., 1996. Materials Science and Engineering: An Introduction, 4th Edition. Wiley.
7. Schreyer, G., 1970. Influence of weather on the properties of methacrylate polymer. Macromolecular Materials and Engineering 11, 159-173.

-
8. Liu, K., Tian, Y., Jiang, L., 2013. Bio-inspired superoleophobic and smart materials: Design, fabrication, and application. *Progress in Materials Science* 58, 503-564.
 9. Bakioglu, L., 2003. Polymerization and Characterization of Poly(ethyl methacrylate). The Middle East Technical University, Ankara.
 10. Marks, J.G., Bishop, M.E., Willis, W.F., 1979. Allergic contact dermatitis to sculptured nails. *Archives of Dermatology* 115, 100-103.
 11. Vázquez, B., Gallardo, A., Elvira, C., San Román, J., 2004. Acrílicos, Estirenos, en "Ciencia y Tecnología de Materiales Poliméricos, Vol. I. Garrido, L., Ibarra, L., Marco, C. (eds.). Instituto de Ciencia y Tecnología de Polímeros, Madrid
 12. Bengoechea, C., Cordobés, F., Puppo, M.C., Guerrero, A., 2007. Viscoelasticidad lineal y tamaños de gota de emulsiones o/w estabilizadas por proteínas vegetales. *Afinidad* 64, 696-704.
 13. Standard Test Method for Plastics: Dynamic Mechanical Properties: In Flexure (Three-Point Bending). 2007: West Conshohocken, PA.
 14. ISO, U.-E., 2012. Plastics - Determination of tensile properties - Part 2: Test conditions for moulding and extrusion plastics. International Organization for Standardization: Switzerland.
 15. ISO, U.-E., 2003. Plastics and ebonite - Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness). International Organization for Standardization: Switzerland.
 16. Moossavi, M., Scher, R.K., 2001. Nail Care Products. *Clinics in Dermatology* 19, 445-448.
 17. Standard, A., Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. 2010: West Conshohocken, PA.