

[Resumen]

La primera parte de la serie «Química y física de los polímeros orgánicos» aborda los fundamentos –esenciales para la comprensión de los materiales odontológicos– de los monómeros utilizados, sus polirreacciones y sus tipos de enlace. Así mismo, se describen sus propiedades químicas y físicas, así como los polímeros obtenidos a partir de ellos. Un apartado presenta definiciones breves de los términos más importantes de la química de polímeros.

Palabras clave

Materiales. Polímeros orgánicos. Monómeros. Propiedades químicas. Propiedades físicas. Definiciones de términos.

(Quintessenz Zahntech.
2008;34(2):190-204)

Polímeros orgánicos: Química y física, 1.^a parte

Ralf Janda

Junto a los materiales metálicos, los materiales sintéticos se han convertido en una de las principales categorías de material, que puede calificarse como imprescindible en todos los ámbitos de la construcción, la técnica y la medicina, así como en numerosas aplicaciones para la vida cotidiana. La denominación con connotación negativa «plástico» ha cedido ante el concepto del «material sintético de alta calidad». Sin duda, al triunfo de los materiales sintéticos ha contribuido el hecho de que con su ayuda se han podido desarrollar materiales «a medida» para prácticamente cualquier problema. Es obvio que todavía no se han agotado por completo todas las posibilidades que se ofrecen, y cabe contar con la aparición de materiales especialmente optimizados para nuevos ámbitos de aplicación.

Se denominan materiales sintéticos a compuestos de elevada masa molecular obtenidos mediante la transformación química de sustancias naturales o mediante la síntesis de sustancias de baja masa molecular. Estas sustancias de baja masa molecular, los monómeros, son las unidades constructivas más pequeñas y repetidas múltiples veces de las cuales se componen los compuestos de elevada masa molecular, las denominadas macromoléculas o polímeros. Las propiedades del material sintético concreto dependen

Introducción

del tipo y el enlace de los monómeros, así como de la disposición espacial de las macromoléculas formadas a partir de éstos y de sus interacciones moleculares. Un principio aplicable en general a todos los polímeros es que resulta imposible determinar para ellos una masa molecular (término obsoleto: peso molecular). Esto se debe a que las macromoléculas individuales de las que se compone un material sintético no poseen una longitud uniforme, sino que crecen conforme a las leyes de la probabilidad.

En este artículo se describen únicamente los polímeros orgánicos, esto es, los polímeros que presentan un enlace carbono-carbono. Los polisiloxanos (siliconas), también muy importantes para la odontología y la prótesis dental y que presentan un enlace silicio-silicio, se discutirán por separado más adelante.

Términos y definiciones

En primer lugar se explican y definen algunos términos importantes. En la bibliografía^{1-3,5,6} pueden hallarse detalles al respecto, así como definiciones de términos adicionales.

Acelerador: Es una sustancia que acelera la polirreacción.

Catalizador: Sustancia que reduce la energía de activación para una reacción química, de forma que ésta pueda desarrollarse sin obstáculos. El catalizador no participa en la reacción, así que existe en el mismo estado antes y después de la reacción.

Comonomero: Es un monómero distinto del monómero principal.

Contenido de monómero residual: Es el porcentaje de monómero que no ha participado en la polirreacción y que permanece como monómero en el polímero.

Contracción = Contracción de polimerización: Se trata de la contracción de volumen que se produce cuando los monómeros reaccionan para convertirse en polímeros. Los monómeros desordenados se acercan entre sí y se ordenan, con lo cual se reduce el volumen que necesitan.

Copolimerización: Polimerización entre dos o más monómeros distintos.

Estabilizador UV: Es una molécula que protege a los polímeros contra la radiación UV.

Grado de polimerización: Indica el número de bloques constructivos básicos (monómeros) de los que está constituido el polímero.

Grado de transformación: Es el porcentaje de monómeros que se ha transformado en polímeros.

Grupo funcional: Se trata de agrupaciones de átomos en una molécula, las cuales son capaces de experimentar reacciones químicas (grupos reactivos).

Inhibidor = Antioxidante = Estabilizador: Es una molécula que atrapa radicales, a fin de impedir una polimerización radical prematura o no deseada.

Iniciador: Molécula que, bajo la influencia de energía (luz, calor, energía química), es capaz de formar radicales que desencadenan la polirreacción. El iniciador participa en la reacción y se consume.

Masa molecular (obsoleto: peso molecular): Suma de las masas atómicas de todos los átomos de los que se compone la molécula.

Materiales sintéticos: Materiales de elevada masa molecular, los denominados polímeros, que se obtienen mediante la transformación química de productos naturales o mediante la síntesis de sustancias de baja masa molecular. Normalmente, los materiales sintéticos poseen un enlace de carbono en la cadena principal, esto es, poseen carácter

orgánico. Sin embargo, también existen materiales sintéticos que tienen carácter puramente inorgánico (ácidos polisilícicos, ácidos polifosfóricos) o carácter predominantemente inorgánico. En este punto cabe mencionar sobre todo los polisiloxanos (denominaciones triviales: silicona, caucho de silicona). Los polisiloxanos asumen una posición intermedia entre los polímeros puramente inorgánicos y los puramente orgánicos. Su cadena principal consta de un enlace Si-O-Si. También este grupo de materiales, así mismo muy importante para la odontología, se tratará en un artículo aparte.

Materiales sintéticos compuestos = Composites: Materiales sintéticos que contienen sustancias de relleno orgánicas o inorgánicas en forma de fibras, fragmentos, plaquitas, tiras, bolas, etc.

Monómero: Bloque constructivo básico que se repite constantemente y sobre el que se basa el polímero (material sintético).

Monómero residual: Es el monómero que no ha participado en la polirreacción y que permanece como monómero en el polímero.

Oligómero: Molécula compuesta por un mayor número de bloques monoméricos, pero que todavía no es la macromolécula con sus propiedades específicas.

Polímero: Sustancia de elevada masa molecular, constituida por definición por más de mil átomos. La transición entre elevada masa molecular y baja masa molecular es fluida.

Polirreacción: Es la reacción que conduce desde el monómero hasta el polímero, por ejemplo polimerización radical, policondensación y poliadición.

Prepolímero: Compuesto de elevada masa molecular que ya casi es un polímero, pero todavía no posee sus propiedades definitivas.

Radical: Molécula reactiva con un electrón libre (no emparejado), que bajo la influencia de energía puede surgir de una molécula iniciadora y que desencadena la reacción de polimerización radical.

Normalmente, los materiales sintéticos empleados en la odontología y la prótesis dental son materiales compuestos no por un único componente, sino por múltiples componentes distintos. De ahí que tales materiales sean denominados también materiales sintéticos compuestos o composites⁵. La formación de dichos materiales sintéticos compuestos se representa esquemáticamente en la figura 1. A una matriz de material sintético no polimerizada, que puede estar formada –y normalmente lo está– por una mezcla de diversos monómeros se le pueden agregar distintos tipos de sustancia de relleno, pigmentos y otros aditivos. Para desencadenar la reacción de fraguado se requieren siempre catalizadores o iniciadores. La elección tanto de la mezcla de la matriz como de los aditivos depende de las propiedades deseadas del material «acabado» endurecido. Las propiedades químicas y físicas de los polímeros vienen determinadas por:

- el tipo de enlace de los bloques constructivos básicos, es decir, los monómeros
- la composición y la estructura de los monómeros
- la disposición de los monómeros en el polímero (estructura primaria)
- la disposición espacial de las cadenas polímeras (estructura secundaria)
- la disposición espacial de las estructuras secundarias entre sí (estructura terciaria)

En los siguientes apartados se abordarán con mayor detalle estos aspectos.

Aspectos generales

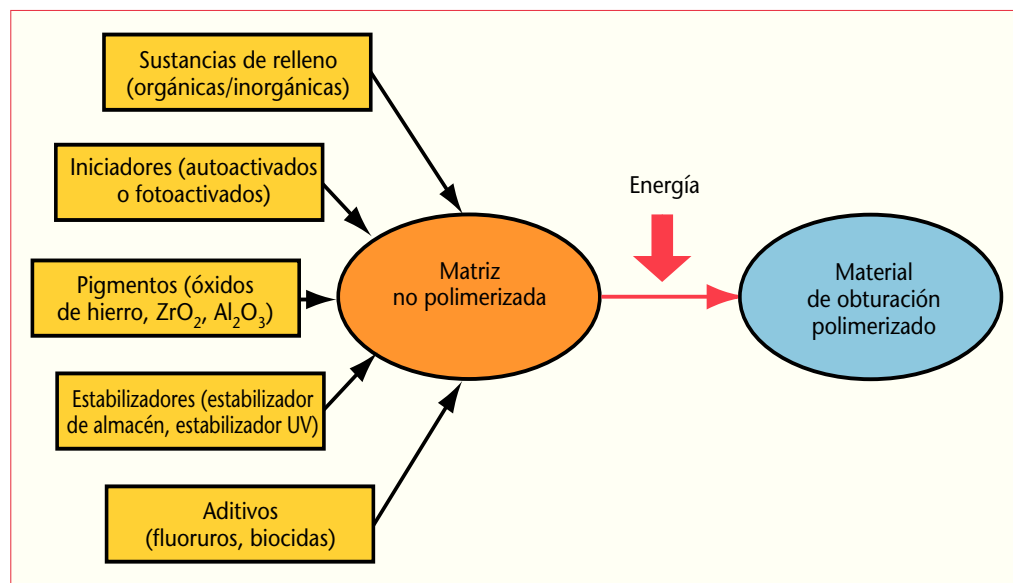


Fig. 1. Composición básica de los materiales sintéticos dentales.

Polímeros, tipos de enlace, polirreacciones

Existen numerosas sustancias de partida, los monómeros, que pueden utilizarse para crear una matriz de material sintético. En función del tipo de monómero se forman distintos tipos de material sintético con diferentes propiedades químicas y físicas. El tipo de monómero concreto determina también el tipo de enlace (esto es, el grupo característico que une los monómeros entre sí formando el polímero), así como el tipo de polirreacción. A su vez, el tipo de enlace determina la denominación del material sintético. La figura 2 muestra distintos polímeros, los tipos de enlace de sus monómeros, así como las polirreacciones correspondientes. Pese a que no se trata en este capítulo, la figura 2 muestra también, para completar, la estructura básica de los polisiloxanos (siliconas) (*página siguiente*).

Mediante unas pocas polirreacciones distintas se obtienen numerosos tipos de material sintético diferentes, importantes para la odontología. Estas polirreacciones son:

- polimerización
- policondensación
- poliadición

Naturalmente, la química de los materiales sintéticos conoce muchos otros tipos de polirreacciones, si bien éstos no son esenciales para la odontología. A continuación se abordan las polirreacciones importantes para los materiales sintéticos odontológicos.

Polimerización

En la polimerización, compuestos insaturados, como olefinas (enlaces dobles), carbonilos o estructuras anulares (epóxidos, dioxano), reaccionan para transformarse en polímeros³. Sin embargo, para la odontología sólo es relevante la estructura olefínica (fig. 3), en forma de grupos metílicos o vinílicos. La reactividad de estos grupos olefínicos se basa en su doble enlace rico en energía.

La reacción de polimerización puede transcurrir siguiendo diversos mecanismos (aniónicamente, catiónicamente, por radicales), si bien actualmente sólo la polimerización

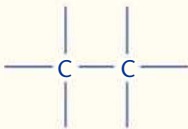
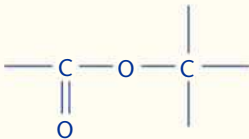
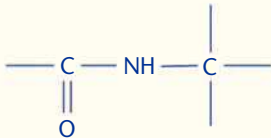
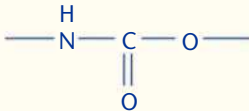
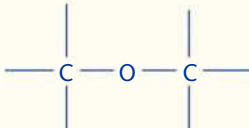
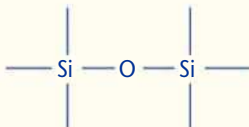
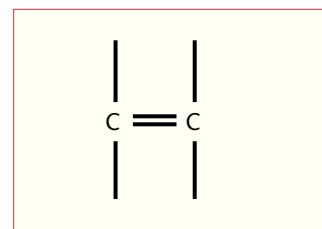
Polímero	Tipo de enlace	Polirreacción
Poliacrilnitrilo Poliétileno Polimetilmetacrilato Polipropileno Poliestireno Politetrafluoretileno Polivinilacetato Polivinilcloruro	Enlace carbono-carbono 	Poliadición Polimerización
Policarbonato Poliéster	Enlace éster 	Policondensación
Poliamida	Enlace amida 	Policondensación
Poliuretano	Enlace uretano 	Enlace uretano Poliadición
Poliacetal Poliéster Poliepóxido	Enlace acetal, enlace éter 	Policondensación
Polisiloxano	Enlace siloxano 	Policondensación Poliadición

Fig. 2. Ejemplos seleccionados de algunos tipos de enlace importantes para materiales sintéticos odontológicos, así como de los polímeros y las polirreacciones correspondientes.

Fig. 3. Representación general del grupo olefínico.



radical es relevante para los materiales sintéticos odontológicos (fig. 4). Se trata de una reacción en cadena, también denominada reacción en cadena por radicales, que transcurre siempre conforme a la secuencia:

- inicio de la cadena
- crecimiento de la cadena
- rotura de la cadena

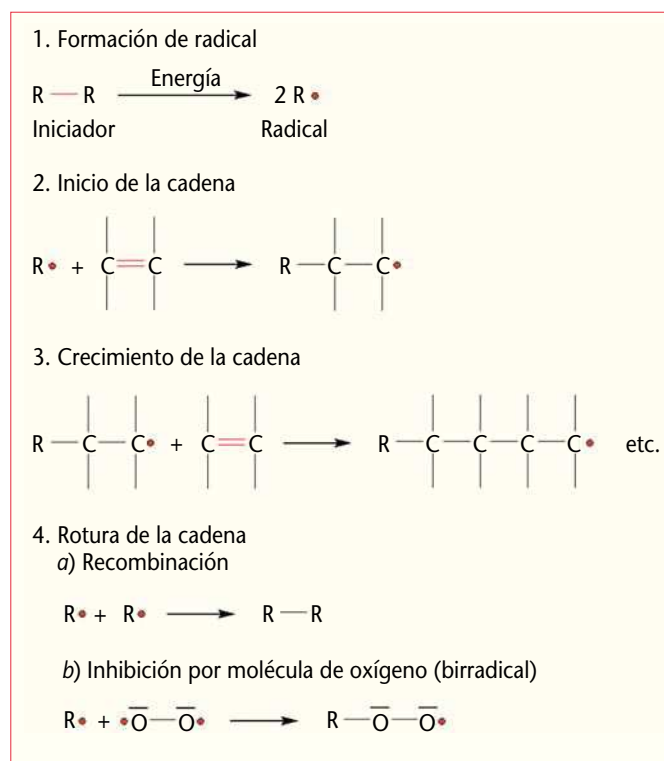


Fig. 4. Esquema de reacción de la polimerización por radicales.

Para desencadenar el inicio de la cadena se requieren iniciadores que, bajo la influencia de energía, se descomponen en fragmentos de molécula reactivos, los denominados radicales (símbolo: R^\bullet). Los radicales son partículas ricas en energía con electrones no emparejados, también denominados electrones libres, y que reaccionan fácilmente con los grupos olefínicos de las moléculas monoméricas. En esta reacción se forman nuevas moléculas radicales, compuestas por la molécula radical y el primer bloque constructivo monomérico, las cuales a su vez se añaden al doble enlace de otro bloque constructivo monomérico. De este modo, una macromolécula crece en forma de cadena hasta convertirse en un oligómero y finalmente en un polímero. Este proceso es el crecimiento de la cadena. La energía necesaria para la creación de los radicales puede ser de muy diversos tipos. Como formas de energía se utilizan el calor, la luz o la «energía química» en forma de procesos de oxidación reducción. Al final de la reacción se produce la rotura de la reacción en cadena. La rotura de la cadena puede tener lugar básicamente de dos maneras distintas. En una primera posibilidad, dos cadenas radicales pueden reaccionar entre sí en una reacción denominada recombinación. Sin embargo, la rotura de la cadena también puede ser provocada por inhibidores (también denominados estabilizadores o antioxidantes). Al atrapar radicales, los inhibidores impiden la continuación de la reacción. Mediante la denominada estabilización mesomérica, forman con los radicales producidos en la mezcla de la reacción nuevos radicales muy estables y energéticamente pobres, los cuales no pueden seguir reaccionando y permanecen en el producto. Tales inhibidores son, por ejemplo, la hidroquinona o el éter monometílico de hidroquinona. Sin embargo, la reacción de polimerización también puede detenerse cuando ya

no quedan monómeros disponibles para la reacción o cuando su concentración se ha reducido hasta tal punto que ya no queda energía suficiente para continuar la reacción. Las escasas moléculas monoméricas no transformadas permanecen como monómero residual en el producto de la reacción. A lo largo del tiempo, los grupos terminales radicales insaturados de las macromoléculas reaccionan con el oxígeno del aire.

La reacción con el oxígeno del aire, el cual actúa prácticamente como inhibidor, es una reacción de rotura de la cadena, que se produce debido al hecho de que el oxígeno es un birradical⁵, es decir, posee dos electrones no emparejados. También en esta reacción se forman nuevos radicales energéticamente pobres que inicialmente ya no pueden seguir reaccionando. Durante el trabajo, especialmente durante la fotopolimerización, esta reacción de rotura se aprecia por una capa húmeda pegajosa (denominada capa de inhibición o de dispersión) que permanece sobre la superficie de la pieza de trabajo. Esta capa está constituida por monómeros transformados de forma incompleta, y puede presentar diferentes grosores (aproximadamente 0,1 mm hasta inapreciable) según el tipo de monómeros e iniciadores, así como dependiendo del tipo y la intensidad de la luz irradiada. Al concluir el trabajo es preciso eliminar íntegramente esta capa, dado que es química y físicamente inestable. No obstante, si se aplica sobre dicha capa nuevo material sintético que contenga monómeros y una cantidad suficiente de iniciador, sus monómeros pueden continuar reaccionando con los radicales energéticamente pobres generados mediante la inhibición por oxígeno, y ambas capas se unen químicamente entre sí.

El principal grupo olefínico para los materiales sintéticos odontológicos es el grupo metacrílico, y el monómero más antiguo y conocido de esta categoría es el metilmetacrilato, cuya estructura y polimerización se muestran en la figura 5.

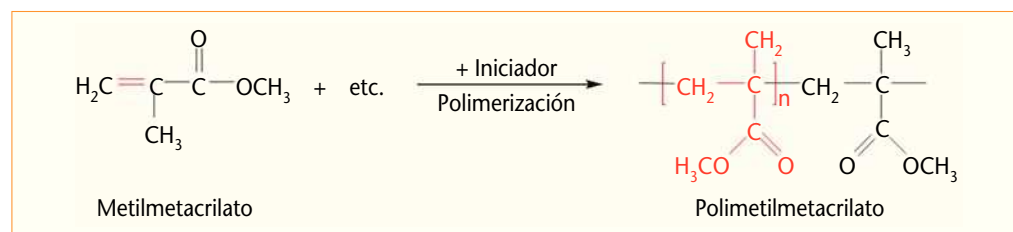


Fig. 5. Polimerización del metilmetacrilato para obtener polimetilmetacrilato.

Se denomina reacción de condensación a una reacción en la que dos o más moléculas se unen para formar una nueva molécula, liberándose una tercera molécula en el proceso³ (fig. 6). Las reacciones de policondensación transcurren conforme al mismo mecanismo que las reacciones de condensación (fig. 7). La principal diferencia radica en el hecho de que para la policondensación los monómeros deben ser como mínimo

Policondensación

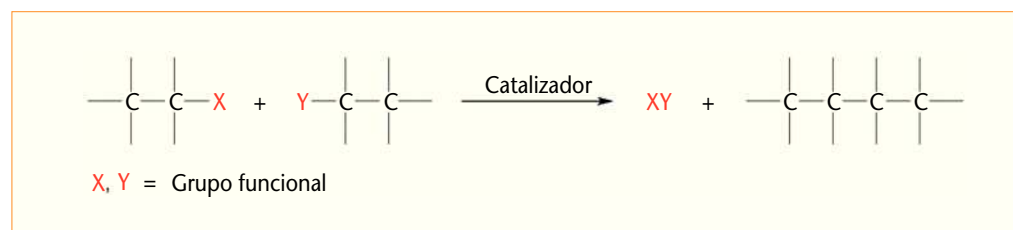


Fig. 6. Transcurso básico de la reacción de condensación.

Fig. 7. Transcurso básico de la reacción de policondensación.

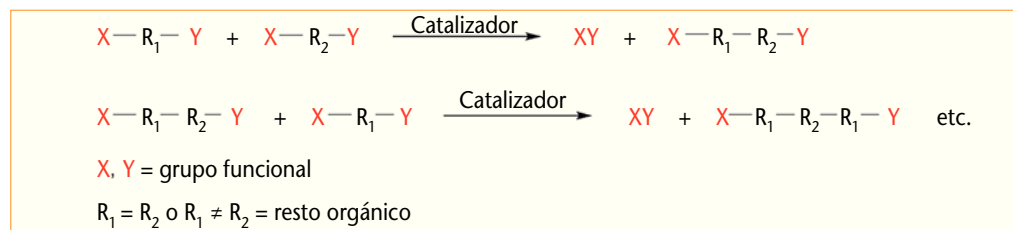


Fig. 8. Síntesis del policarbonato.

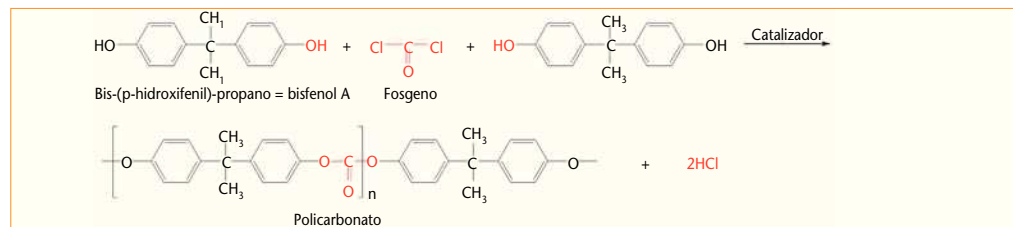


Fig. 9. Transcurso básico de la reacción de adición.

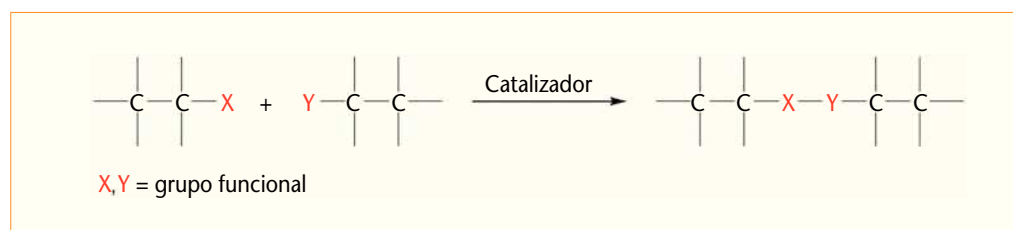
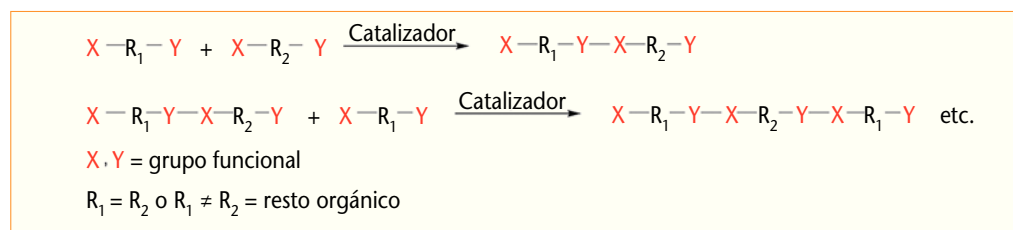


Fig. 10. Transcurso básico de la poliadición.



bifuncionales, dado que de lo contrario no puede producirse el crecimiento de la cadena. Para desencadenar la policondensación no pueden utilizarse iniciadores, sino que deben emplearse catalizadores. Dichos catalizadores son metalorganilos (compuestos metalorgánicos), o ácidos o bases. Dado que la policondensación no es una reacción por radicales, no se ve influida ni por atrapadores de radicales ni por el oxígeno del aire. La figura 2 muestra algunos materiales sintéticos importantes que pueden sintetizarse mediante policondensación. La figura 8 muestra la síntesis del policarbonato, un material sintético importante también para la prótesis dental, que por ejemplo se utiliza para confeccionar férulas de mordida en el procedimiento de embutición profunda.

Poliadición

En una reacción de poliadición, dos moléculas reaccionan formando una nueva molécula, sin que en el proceso se libere un tercer componente. En otras palabras, las sustancias de partida se suman para formar un nuevo producto³ (fig. 9). El requisito para que se produzca una poliadición es, al igual que para la policondensación, que los reactantes sean cuando menos bifuncionales (fig. 10). Las reacciones de poliadición se desencadenan mediante catalizadores y no son del tipo radical, de modo que tampoco se ven influidas ni por atrapadores de radicales ni por el oxígeno del aire.

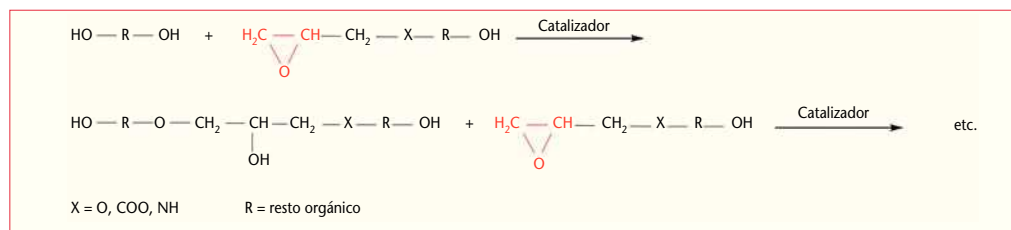


Fig. 11. Síntesis de un poliepóxido (grupo epoxi en rojo).

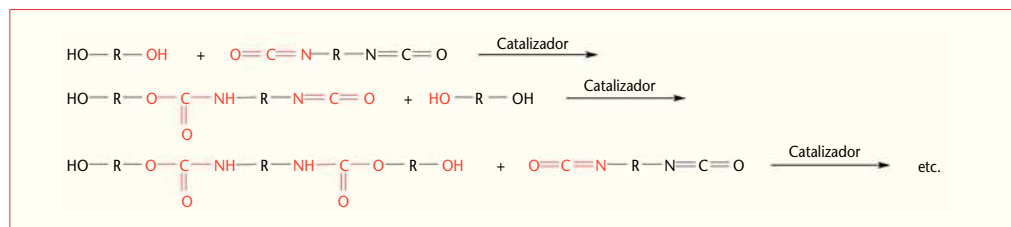


Fig. 12. Síntesis de un poliuretano (grupos reactivos y grupo uretano formado en rojo).

Las figuras 11 y 12 muestran la síntesis de poliepóxidos y poliuretanos, los cuales también han adquirido cierta importancia para la prótesis dental como materiales de modelado.

Las propiedades de los polímeros son determinadas por las estructuras y las propiedades de los monómeros empleados para sus síntesis³. Una de las principales clases de polímeros para la producción de materiales dentales es, sin duda, la formada por los polimetacrilatos y, por ende, por los metacrilatos utilizados para su obtención, algunos de cuyos representantes importantes se muestran en la figura 13. El grupo funcional de estos monómeros es el grupo metacrílico, el cual es extremadamente reactivo y apto para la polimerización por radicales. Si al grupo metílico le falta el átomo C que lleva el doble enlace, hablamos de acrilatos (fig. 14). Los metacrilatos y los acrilatos pueden ser mono-, bi-, tri- o tetrafuncionales, es decir, pueden presentar uno, dos, tres o cuatro grupos acrílicos o metacrílicos. Los (met)acrilatos monofuncionales (MMA, HEMA, HPMA, AS) sólo pueden formar moléculas lineales sin fin, dado que el crecimiento de la cadena tiene lugar en un solo punto de la molécula. La cohesión de tales moléculas lineales se produce mediante interacciones moleculares, proceso que abordaremos con mayor detalle más adelante. En el caso de metacrilatos bifuncionales y de funcionalidad superior, el crecimiento de la cadena puede tener lugar en dos o más puntos de la molécula. Esto conduce a un enlace químico covalente entre las cadenas que crecen por separado, también denominado reticulación. De ahí que los monómeros bifuncionales y de funcionalidad superior también son conocidos como reticuladores. De estas propiedades monoméricas resultan propiedades poliméricas totalmente distintas.

La figura 13 muestra también que los metacrilatos pueden tener masas moleculares muy diferentes, lo cual naturalmente influye sobre sus propiedades propias, así como sobre las del proceso de polimerización y las de los polímeros creados. Como regla general, se parte de la premisa de que a mayor masa molecular aumentan el punto de ebullición y la viscosidad, mientras que disminuye la contracción de polimerización (tabla 1).

La estructura de los monómeros determina también su absorción de agua y su solubilidad. Mediante la integración de grupos hidroxilos (grupos OH) o carboxilos (grupos COOH), los monómeros se vuelven hidrosolubles, como ocurre en el caso de HEMA o del ácido acrílico.

Estructuras
y propiedades
de los monómeros
y oligómeros

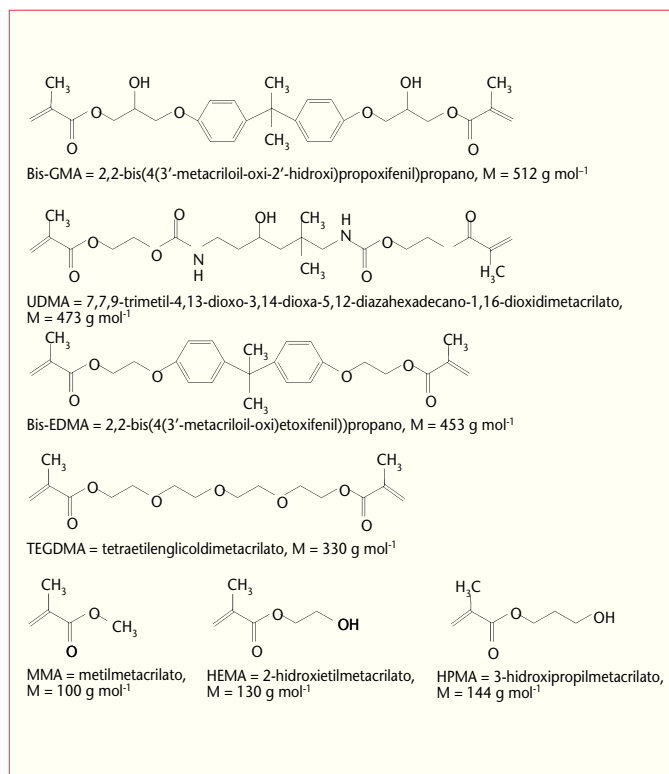


Fig. 13. Ejemplos seleccionados de metacrilatos conocidos.

Tabla 1. Contracción de polimerización de algunos metacrilatos

Monómero	Contracción de polimerización [% vol.]
Metilmetacrilato	21
Etilenglicoldimetacrilato	16
Trietilenglicoldimetacrilato	15
Bis-GMA	6
UDMA	7

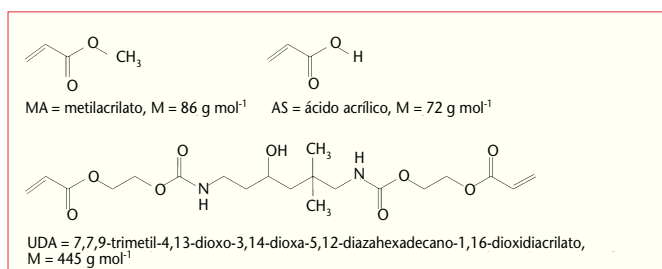


Fig. 14. Ejemplos seleccionados de acrilatos conocidos.

Los polímeros sintetizados a partir de estos monómeros son duros y sólidos en estado seco, pero si se sumergen en agua la absorben en grandes cantidades (hasta un 30% y más) y se vuelven blandos y elásticos (por ej., poli-HEMA). Otros, como el ácido poliacrílico, son incluso totalmente hidrosolubles y poseen un efecto espesante. Este carácter fuertemente hidrófilo es causado por los grupos hidroxilos y carboxilos, los cuales son capaces de formar enlaces de puentes de hidrógeno. Mediante la copolimerización de monómeros fuertemente hidrófilos con monómeros hidrófobos (aquellos que no pueden formar enlaces de puentes de hidrógeno) resulta posible regular selectivamente –por así decirlo, confeccionar a medida– la tendencia a la absorción de agua del polímero resultante.

Estructuras y propiedades de los polímeros

No sólo el tipo de los monómeros y el tipo del enlace determinan las propiedades de un polímero, sino también las nuevas estructuras creadas³. Las estructuras primarias, secundarias y terciarias de los polímeros no son determinadas únicamente por el tipo de monómeros, su tipo de enlace y las interacciones inter e intramoleculares de las cadenas polímeras, sino también por el tipo de tratamiento posterior del material sintético. Tales tratamientos posteriores pueden ser, por ejemplo, maleabilización o estiramiento. Las interacciones intramoleculares en las cadenas polímeras son por ejemplo los puntos de reticulación, mientras que las intermoleculares pueden ser:

- enlaces de puentes de hidrógeno
- fuerzas de Van der Waals

- fuerzas electrostáticas
- interacciones hidrófobas

las cuales también se denominan fuerzas de valencia secundarias. A continuación se presenta una clasificación de los polímeros en:

- termoplastos
- elastómeros
- durómeros

en función de sus características estructurales esenciales, y se exponen las propiedades resultantes de las características estructurales.

Los termoplastos se crean mediante la polimerización de monómeros monofuncionales o la policondensación o poliadición de monómeros bifuncionales incapaces de reticular. Su estructura³ consta de moléculas lineales sin fin, las cuales forman ovillos desordenados (fig. 15) e interactúan entre sí únicamente mediante fuerzas de valencia secundarias. Las fuerzas de valencia secundarias pueden suprimirse de manera reversible, por ejemplo mediante el aumento de la temperatura o utilizando disolventes. Estas propiedades de los termoplastos se aprovechan a gran escala en la técnica de elaboración. Así, en el moldeo por inyección o en el método de embutición profunda, se calientan los termoplastos hasta su intervalo de fusión o de ablandamiento y se inyectan o se prensan para obtener la forma deseada, en la cual se dejan enfriar. Tras el enfriamiento han adoptado la nueva forma y la conservan mientras la temperatura de utilización se mantenga lo suficientemente alejada de la temperatura de deformación. En este contexto cabe observar que los termoplastos, debido a la masa molecular no uniforme de las moléculas lineales sin fin individuales, no poseen un punto de fusión exacto, sino un intervalo de ablandamiento o de fusión. A medida que se recorre el intervalo de fusión, inicialmente se vuelven plásticamente deformables, para a medida que las temperaturas siguen ascendiendo pasar a convertirse en una masa fundida más o menos viscosa. Si la temperatura sigue ascendiendo, finalmente se alcanza la temperatura de descomposición, a la que se produce la descomposición irre-

Termoplastos

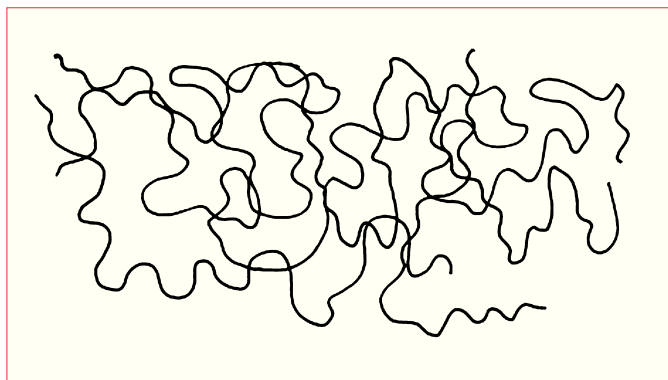


Fig. 15. Representación esquemática de la estructura de un termoplasto. Las moléculas lineales sin fin forman ovillos desordenados.

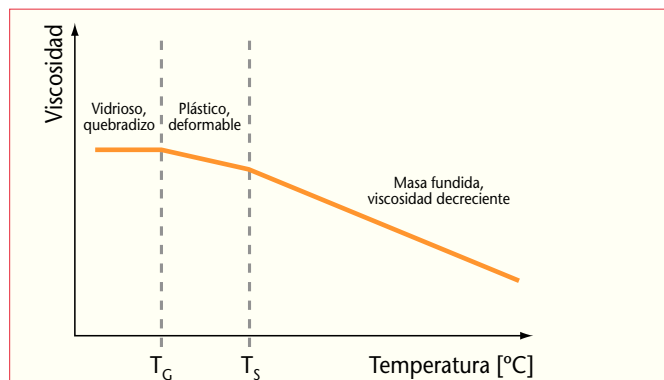


Fig. 16. Comportamiento térmico de un termoplasto: T_G : intervalo de transición vítrea; T_S : intervalo de fusión.

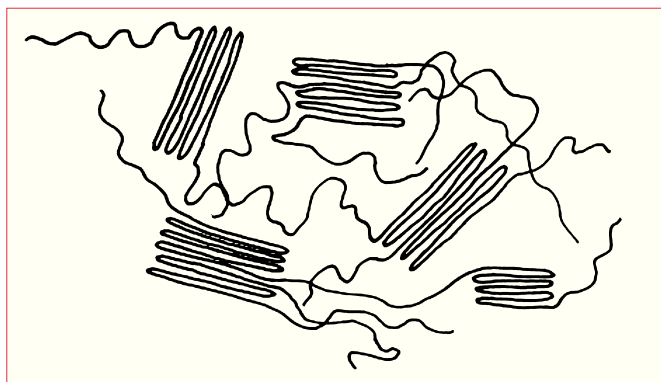


Fig. 17. Estructura cristalina de un termoplasto.

versible. Otra gama de temperaturas característica es el intervalo de transición vítrea. Por debajo de este intervalo, los termoplastos son duros y vídriosos-quebradizos, mientras que por encima pueden doblarse sin sufrir rotura frágil. Como ya se ha explicado anteriormente, este comportamiento se debe a que las fuerzas de valencia secundarias se suprimen gradualmente a medida que aumenta la temperatura (fig. 16).

Junto a la estructura totalmente desordenada de las moléculas lineales, éstas pueden poseer también zonas ordenadas. Dentro de las zonas ordenadas, las moléculas lineales están plegadas o estiradas regularmente (fig. 17). En función de la cantidad de estas zonas ordenadas presentes en el termoplasto, se distingue entre cristalinidad baja, parcial o alta. El tipo de los monómeros y su simetría determinan si aparece cristalinidad y en qué medida lo hace. Sin embargo, también puede generarse la cristalinidad mediante tratamiento posterior, como maleabilización o estiramiento. En el caso de los termoplastos, las moléculas lineales individuales constituyen la estructura primaria, mientras que las moléculas lineales dispuestas formando ovillos desordenados o en zonas ordenadas conforman la estructura secundaria. Ejemplos de termoplastos con grados de cristalinidad elevados son el polietileno (PE), polipropileno (PP) o politetrafluoretileno (teflón). Algunos ejemplos de termoplastos con baja cristalinidad son el polivinilcloruro (PVC), polimetilmetacrilato (PMMA) o poliestireno (PS).

Los termoplastos cristalinos se diferencian claramente de los no cristalinos en sus propiedades físicas y químicas. Así, las temperaturas para los intervalos de transición vítrea y de fusión ascienden a medida que aumenta la cristalinidad. Lo mismo ocurre con la solubilidad. Los termoplastos no cristalinos suelen ser muy solubles en numerosos disolventes. Cuanto más cristalino sea el termoplasto, tanto más insoluble se vuelve. Por ejemplo, el PS o el PMMA son muy solubles en acetona, pero el PE y el PP no lo son en absoluto.

Elastómeros

Los elastómeros son esencialmente amorfos. Su intervalo de transición vítrea se sitúa muy por debajo de la temperatura ambiental, a aproximadamente -70 a -130 °C, lo cual significa que en condiciones normales son elásticos. El comportamiento elástico es la propiedad que tiene un material de deformarse fuertemente bajo la acción de una fuerza sin romperse. Si la fuerza disminuye o desaparece por completo, el material recupera su estado original. Sin embargo, para alcanzar un comportamiento elástico no basta con tomar monómeros que conduzcan a polímeros con un intervalo de transición vítrea bajo, sino que además las cadenas polímeras también deben estar poco reticuladas entre sí (fig. 18). La reticulación muy débil posibilita que las cadenas se deslicen pa-

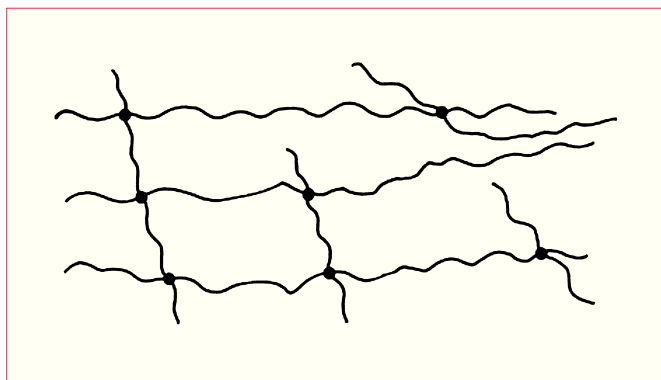


Fig. 18. Estructura de un elastómero. • = punto de reticulación.

sando unas junto a otras al incidir una fuerza externa hasta un valor límite característico de cada elastómero (límite elástico, resistencia a la tracción), sin que la red se destruya por completo. Pero al disminuir la fuerza, la reticulación débil provoca también que, debido a la agitación térmica, la red pueda recuperar su estado original. Por regla general, los elastómeros no pueden ser fundidos ni disueltos en disolventes, pero sí pueden expandirse en éstos, dependiendo de su estructura molecular. Elastómeros típicos para la odontología son los poliéteres y los materiales de impresión de polisiloxano. En virtud de su estructura, los poliéteres pueden formar puentes de hidrógeno, y en consecuencia son expansibles en medios acuosos, mientras que los polisiloxanos no lo son.

Los durómeros (término obsoleto: duroplastos) se sitúan en total contraste con los termoplastos y los elastómeros. El intervalo de transición vítrea de los durómeros amorfos se halla a temperaturas muy elevadas y a menudo coincide con el intervalo de descomposición. Los durómeros son muy duros y con frecuencia también frágiles, y poseen resistencias mecánicas excelentes. Son insolubles en todos los disolventes, no se expanden y no pueden ser fundidos. Se utilizan para aplicaciones en las que se requieren una resistencia y una estabilidad química máximas. Así pues, en la odontología se trata por ejemplo de materiales de obturación, materiales para el recubrimiento de coronas y puentes o para la confección de estructuras de coronas y puentes. Los durómeros, al igual que los elastómeros, deben ser obtenidos en su forma definitiva deseada. En estado endurecido sólo pueden ser mecanizados con desprendimiento de virutas. Los durómeros se obtienen mediante la polimerización de monómeros bifuncionales o de funcionalidad superior, o

Durómeros

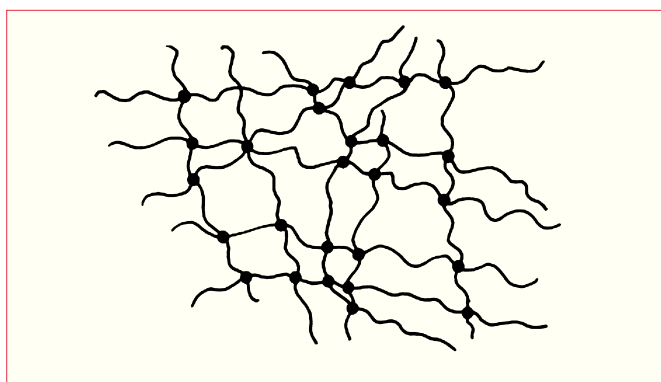


Fig. 19. Estructura de un durómero. • = punto de reticulación.

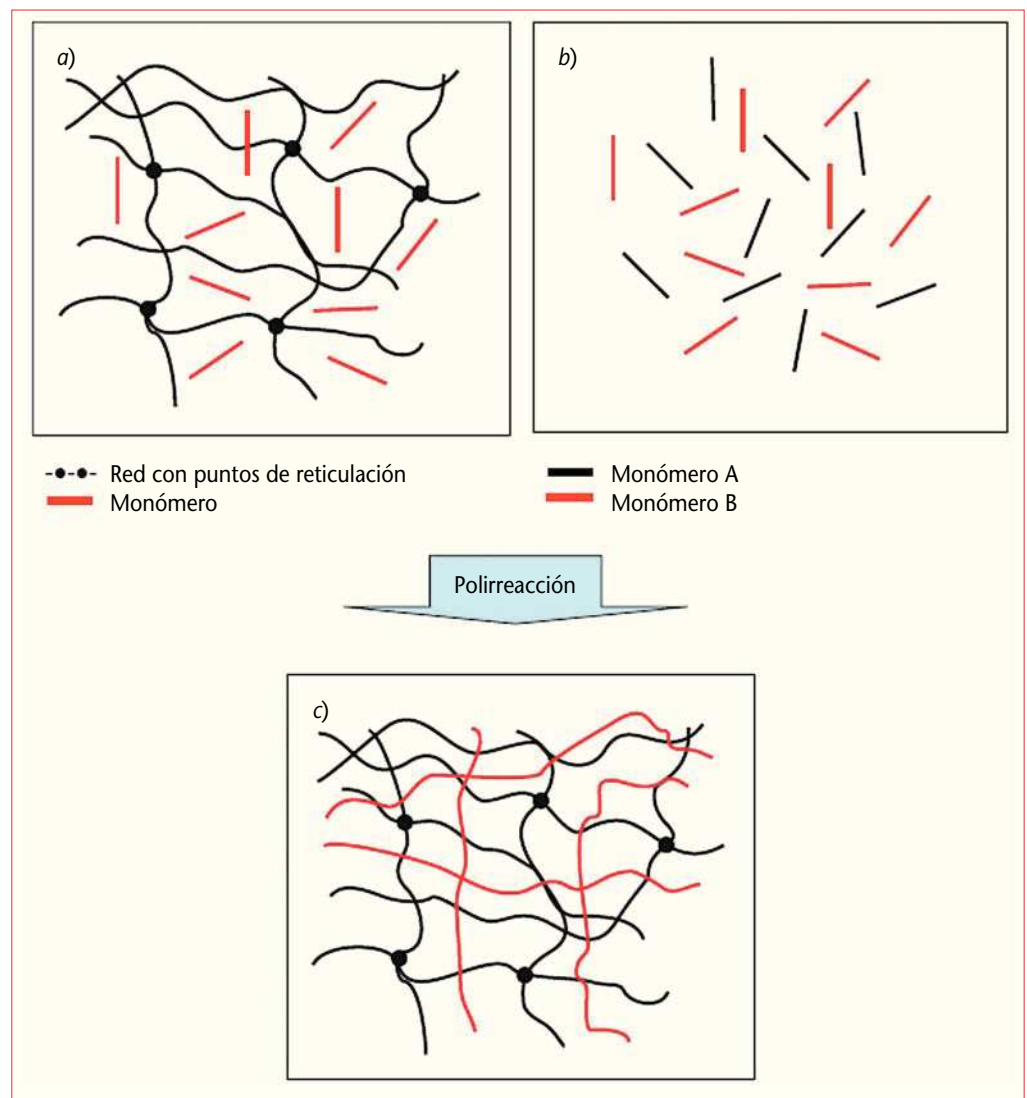
mediante policondensación o poliadición de monómeros trifuncionales o de funcionalidad superior, lo cual significa que los durómeros son materiales altamente reticulados (fig. 19).

Es posible obtener transiciones fluidas entre termoplastos, elastómeros y durómeros mediante la selección acertada de diversos monómeros y su copolimerización.

Redes interpenetrantes

Las redes interpenetrantes (figs. 20a a 20c) se forman cuando dos redes polímeras son creadas de forma totalmente independiente entre sí, de tal modo que se penetran mutuamente. Entre las redes no se establecen enlaces covalentes, sino únicamente enlaces de valencia secundarios, así como un entrelazamiento físico intensivo³ (fig. 20c). Para la obtención de tales redes interpenetrantes pueden aplicarse los siguientes métodos:

- Un polímero polimerizado muy débilmente reticulado se expande con un monómero adecuado. A continuación se polimeriza el monómero utilizado para la expansión (fig. 20a).



Figs. 20a a 20c. Formación de una red interpenetrante. a) Los monómeros penetran en una red existente. b) Distintos monómeros forman una red interpenetrante mediante dos polirreacciones distintas. c) Redes interpenetrantes.

- Se mezclan entre sí dos monómeros que reaccionan conforme a mecanismos distintos –uno mediante polimerización radical, el otro mediante policondensación– y a continuación se someten simultáneamente a la polirreacción (fig. 20b).

De esta manera pueden obtenerse materiales con propiedades físicas, químicas y de elaboración especiales. Esta técnica se utiliza con frecuencia, por ejemplo, en la confección de dientes de resina.

1. Janda R. Synthetic Resins. In: Ullmann's Encyclopedia, Vol. 8. Kapitel 5: Dental Materials. Weinheim: Wiley-VCH, 1987:277,284.
2. Janda, R. Kunststoffverbundsysteme. Grundlagen, Anwendung, Verarbeitung, Prüfung. Monographie mit 316 Seiten. Weinheim: Wiley-VCH, 1990.
3. Janda, R. Kunststoffverbundsysteme. Grundlagen, Anwendung, Verarbeitung, Prüfung. Monographie mit 316 Seiten. Weinheim: Wiley-VCH, 1990.
4. Janda, R. Chemie und Physik zahnärztlicher Kunststoffe. In: Eichner K, Kappert HF. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Heidelberg: Hüthig, 2005:173,210.
5. Janda R. Chemie und Physik zahnärztlicher Kunststoffe. In: Eichner K, Kappert HF. Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Heidelberg: Hüthig, 2005.
6. Ludwig K. Lexikon der Zahnmedizinischen Werkstoffkunde. Berlin: Quintessenz, 2004.

Bibliografía

Prof. Dr. Ralf Janda.
Heinrich-Heine-Universität, Westdeutsche Kieferklinik, Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde.
Moorenstrasse 5, 40225 Düsseldorf, Alemania.
Correo electrónico: ralf.janda@uni-duesseldorf.de

Correspondencia