

COMPOSITO DE POLIURETANO

CAMPO DE LA INVENCION

- 5 La invención pertenece al campo de los materiales compuestos, particularmente a compositos de polímeros sintéticos del tipo poliuretano.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

- 10 La presente invención está relacionada con un composito que comprende nanopartículas funcionalizadas incorporadas en una matriz de poliuretano y su proceso de síntesis. El proceso comprende fundir un diisocianato en un reactor en una atmósfera de gas inerte; adicionar un macrodiol controlando temperatura y agitación constante hasta obtener un pre-polímero; adicionar un extensor de cadena y curar el polímero obtenido. En cualquiera de
15 las etapas del proceso, se incorporan nanopartículas funcionalizadas, las cuales están conformadas por partículas primarias embebidas en una matriz proteica.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

- 20 FIG. 1 Distribución de tamaño de partícula de nanopartículas de carbonato de calcio funcionalizadas con proteína.
FIG. 2 Microfotografía electrónica de barrido de nanopartículas de carbonato de calcio 50% CaCO_3 , 50% Caseinato de sodio.
FIG. 3 Microfotografía electrónica de barrido de composito poliuretano-nanopartículas de
25 carbonato de calcio (0,5% nanopartículas).
FIG. 4 Microfotografía electrónica de barrido de composito poliuretano-nanopartículas de carbonato de calcio (2,0% nanopartículas).

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

- 30 Entre los polímeros sintéticos más utilizados para aplicaciones biomédicas se encuentran los poliuretanos, los policarbonatos y los poliésteres, dada su biocompatibilidad, biodegradación y propiedades mecánicas ajustables. En el caso de los poliuretanos, es posible lograr una amplia variación en las propiedades mecánicas y adhesivas de los materiales obtenidos,
35 debido a la diversidad en la composición química de los monómeros involucrados en su síntesis (i.e. isocianatos, alcoholes, aminas y extensores de cadena).

- Las propiedades termoplásticas de los poliuretanos están asociadas a la presencia de dos microfases o microdominios, uno duro que le confiere resistencia mecánica y otro blando
40 que le proporciona flexibilidad al material y propiedades adhesivas modulables. Estas propiedades mecánicas y adhesivas de los poliuretanos termoplásticos permiten su aplicación

en la elaboración de biomateriales para el remplazo total o parcial de tejidos que están permanentemente sometidos a fuerzas compresivas, de cizalla o de elongación. Es así como los poliuretanos termoplásticos han sido empleados en la reparación o reemplazo de músculos cardíacos, nervios, vasos sanguíneos, huesos y cartílagos.

5

Sin embargo, los poliuretanos termoplásticos al igual que otros polímeros sintéticos o naturales puros, presentan desbalances en sus propiedades mecánicas, adhesivas o funcionales. Es por esto que en la naturaleza las proteínas o polisacáridos usualmente se unen a materiales inorgánicos (v.g. carbonato o fosfato de calcio) para generar materiales compuestos o compositos, que desarrollan la elasticidad del polímero natural y las propiedades biológicas del material inorgánico (v.g. estimulación del crecimiento de células y adhesión entre tejidos).

10

Se han elaborado compositos de poliuretanos termoplásticos para aplicaciones biomédicas empleando carbonato de calcio como material de relleno para promover el crecimiento celular, debido a sus mejores propiedades adhesivas respecto a poliuretanos sin material de relleno adicionado (*Ida Dulinska-Molaka, Małgorzata Lekka, Krzysztof J. Kurzydłowski. Surface properties of polyurethane composites for biomedical applications. Applied Surface Science 270 (2013) 553– 560*).

15

20

De igual forma, se han divulgado nanopartículas de hidroxiapatita como material de soporte biocompatible (*Laís P. Gabriel, Maria Elizabeth M. dos Santos, André L. Jardini, Gilmar N.T. Bastos, Carmen G.B.T. Dias, Thomas J. Webster, Rubens Maciel Filho, Bio-based polyurethane for tissue engineering applications: How hydroxyapatite nanoparticles influence the structure, thermal and biological behavior of polyurethane composites. Nanomedicine: Nanotechnology, Biology, and Medicine 13 (2017) 201–208*), partículas de hueso o materiales sustitutos de hueso (e.g. carbonato de calcio, fosfato de calcio) para osteoimplantes (US20050027033) y para aplicaciones ortopédicas (US20100112032).

25

30

El composito desarrollado por Duliska-Molaka y colaboradores (2013) empleó micropartículas de carbonato de calcio con tamaños entre 3.1 y 84.4 micrómetros a una concentración de 10%, e incorporadas al macrodiol (i.e. policaprolactona diol) durante el proceso de síntesis, con el único propósito de generar una adecuada adhesión de células humanas derivadas de hueso.

35

El composito desarrollado por Gabriel y colaboradores (2017) empleó aglomerados de nanopartículas de hidroxiapatita (150 nm) obtenidas mediante el método sol-gel a una concentración de 20% e incorporados al pre-polímero de poliuretano (obtenido de la reacción entre un poliol de los frutos del Acaí y el diisocianato de hexametileno). El material compuesto se elaboró con el propósito de mejorar las propiedades adhesivas de los

40

fibroblastos, inhibir reacciones inflamatorias en las células y promover las funciones de formación de tejido en las células.

Al emplear material de refuerzo con un tamaño de partícula en el rango micrométrico, es necesario adicionar entre el 10% (m/m) y 50% (m/m) de material de refuerzo para alcanzar los requerimientos necesarios, lo que implica el consumo de grandes cantidades de material de refuerzo, así como la pérdida de otras propiedades del material como la dureza, ductilidad y aspecto del material obtenido como el color. Este efecto comúnmente se denomina propiedad de compensación. Adicionalmente, la interacción material de refuerzo-matriz polimérica tiende a no ser efectiva debido a la baja relación área-volumen que presenta el material de refuerzo.

Los sistemas de tipo composito del estado de la técnica no incorporan nanopartículas de minerales u óxidos metálicos tipo multinúcleo funcionalizadas con proteínas, las cuales permiten una fuerte interacción con los segmentos duros y blandos del poliuretano, mejorando así las propiedades mecánicas y adhesivas del material obtenido y su aplicación para la restauración o reemplazo de tejidos.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

La presente invención se refiere a un material compuesto o composito que comprende nanopartículas funcionalizadas incorporadas en una matriz polimérica de poliuretano. Se entiende por composito a un material compuesto por dos o más materiales con propiedades físicas o químicas significativamente diferentes.

Las nanopartículas funcionalizadas a las que hace referencia la presente invención son partículas primarias de naturaleza inorgánica u orgánica embebidas con una matriz proteica (como se muestra en la solicitud de patente WO2012/140626 y se explica nuevamente en este documento), que forman una nanopartícula de tipo multinúcleo, donde la matriz proteica hace a su vez de agente funcionalizante de la nanopartícula. Las nanopartículas funcionalizadas se encuentran suspendidas de forma no-agregada en fase acuosa y tienen un tamaño inferior a 1000nm. En una modalidad de la invención, las nanopartículas funcionalizadas tienen un tamaño de partícula entre 5 nm y 1000 nm, preferiblemente entre 10 nm y 500 nm. En otra modalidad de la invención, las nanopartículas funcionalizadas tienen un tamaño de partícula entre 50nm y 400nm, preferiblemente entre 150nm y 300nm. El aumentar el tamaño de partícula por encima de estos tamaños puede reducir las propiedades mecánicas del material.

Las nanopartículas funcionalizadas están formadas por partículas primarias embebidas por una matriz proteica. Las partículas primarias tienen tamaños de partícula inferiores a 20nm. En una modalidad, las partículas primarias tienen un tamaño de partícula entre 3nm y 18nm.

En otra modalidad, las partículas primarias tienen un tamaño de partícula entre 5nm y 10nm. El contenido de las partículas primarias en las nanopartículas funcionalizadas está entre 5% y 70%. En una modalidad, el contenido de las partículas primarias en las nanopartículas funcionalizadas está entre 20% y 50% o entre 30% y 45%, donde el porcentaje restante
5 corresponde a la matriz proteica.

Las partículas primarias pueden ser compuestos inorgánicos, minerales, óxidos metálicos, óxidos no metálicos, óxidos de hierro, óxidos de zinc, carbonatos, fosfatos, aluminosilicatos. Las partículas primarias pueden ser, entre otros, CaCO_3 , $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, MgCO_3 , FeCO_3 ,
10 $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$, MnCO_3 , FeCO_3 , MgCO_3 , $\text{CaMn}(\text{CO}_3)_2$, $\text{CaFe}(\text{CO}_3)_2$, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$, ZnO , Cu_2O , CuO , CoO , Au_2O_3 , TiO_2 , Ni_2O_3 , Ag_2O , HgO , CrO , BaO , Cr_2O_3 , PbO , FeO , Fe_2O_3 , CaO , Li_2O , SnO , SnO_2 , BaSO_4 .

La matriz proteica posee actividad dispersante y estabilizante, que permite la formación de
15 nanopartículas tipo multinúcleo y les confiere estabilidad en el tiempo, dado que las proteínas de la matriz proteica pueden actuar como agentes dispersantes, estabilizantes y funcionalizantes de las nanopartículas. La matriz proteica se selecciona de proteínas lácteas, cárnica y proteínas provenientes de vegetales. En una modalidad de la invención, las proteínas pueden ser proteína de suero lácteo, caseínas, caseinato, beta lactalbumina, proteína
20 de huevo como la ovalbúmina, proteínas cárnica sarcoplasmáticas y miofibrilares, proteínas vegetales como la proteína de soya, maíz, arroz, cebada, canola, avena, entre otras, y sus combinaciones. En una modalidad de la invención, la matriz proteica se selecciona de: caseinato de calcio, caseinato de sodio y proteína de suero lácteo.

25 La matriz proteica de las nanopartículas funcionalizadas puede estar en una concentración entre el 10% y el 70% de la nanopartícula funcionalizada. En una modalidad de la invención, la matriz proteica está en una concentración entre 10% y 30% de la nanopartícula funcionalizada. En otra modalidad de la invención, la matriz proteica está en una concentración entre 40% y 60% de la nanopartícula funcionalizada. En otra modalidad, la
30 matriz proteica está en una concentración entre 45% y 55% de la nanopartícula funcionalizada.

Adicionalmente, las nanopartículas funcionalizadas pueden encapsular principios activos solubles en agua, los cuales pueden ser compuestos químicos o biológicos susceptibles a ser
35 encapsulados o asociados a la nanopartícula y se seleccionan del grupo que consiste de fármacos, células y productos biotecnológicos.

Las nanopartículas funcionalizadas a las que hace referencia la presente invención están incorporadas en una matriz polimérica de poliuretano, funcionando como un material de
40 refuerzo. En una modalidad de la invención, el poliuretano es un poliuretano termoplástico. El incorporar nanopartículas funcionalizadas como material de refuerzo al material

polimérico, le confiere al material un mejor desempeño con respecto al material sin refuerzo, debido a que los constituyentes de un material compuesto tienen diferentes estructuras y composiciones químicas, y por ende, diferentes propiedades físicas. El resultado es una sinergia de las propiedades de los materiales iniciales.

5

Por su alta relación área-volumen, las partículas nanométricas (en este caso las nanopartículas funcionalizadas) tienden a interactuar más fácilmente con la matriz polimérica, por lo que la cantidad necesaria para mejorar las propiedades del material es más baja. Así, el porcentaje de nanopartículas funcionalizadas en el compuesto, puede estar en el rango de 0,1% m/m a 20,0% m/m. En una modalidad de la invención, la cantidad de nanopartículas funcionalizadas en el compuesto está en un rango de 0,5% m/m a 5,0% m/m. En otra modalidad de la invención, la cantidad de nanopartículas funcionalizadas en el compuesto está en el rango de 0,5% m/m a 2,0% m/m. En otra modalidad de la invención, la cantidad de nanopartículas funcionalizadas en el compuesto está en el rango de 0,6% m/m a 1,0% m/m.

15

Para poder explotar esa maximización de la relación área-volumen que tienen las nanopartículas, es necesario cumplir con ciertos requerimientos para que la interacción entre las nanopartículas y el material de refuerzo sea efectiva y se puedan lograr las propiedades mecánicas deseadas. El primer requerimiento es evitar la agregación de las nanopartículas; precisamente debido a la alta relación área-volumen que estas tienen, las partículas tienden a la agregación evitando la interacción óptima entre refuerzo y polímero. El control de la agregación de nanopartículas se logra estabilizando las partículas electrostáticamente o estéricamente durante el proceso de su producción.

25

El segundo requerimiento es generar una buena dispersión del material nanoparticulado en la matriz polimérica ya que esto conlleva a un aumento en área interfacial, favoreciendo la interacción entre las moléculas de carácter inorgánico el refuerzo y las moléculas orgánicas de la matriz polimérica. En este aspecto radica uno de los grandes retos de la ciencia de los materiales, puesto que generar materiales compuestos con nanopartículas bien dispersas en la matriz polimérica dependerá de factores químicos como el tipo de polímero y el tipo de material de refuerzo nanoparticulado, así como factores físicos como el método de inclusión de las nanopartículas.

35

En el proceso de síntesis del material compuesto de la invención, se mantienen constantes tres parámetros, la relación en porcentaje en masa del segmento suave, la relación entre la cantidad química de grupos isocianatos con respecto a las moles de grupos hidroxilos, y el porcentaje de nanopartículas adicionadas. La relación en porcentaje en masa del segmento suave entre 40 y 60% y la del segmento rígido entre 60 y 40%. Además, la relación entre la cantidad química de grupos isocianatos con respecto a las moles de grupos hidroxilos se encuentra entre 0,9 y 1,2, en una modalidad la relación es entre 0,95 y 1,1; en otra modalidad

40

la relación se encuentra entre 1,0 y 1,05. Por otro lado, el porcentaje de nanopartículas incorporadas a la matriz polimérica está entre 0,1% m/m y 20,0% m/m.

El proceso de síntesis del compuesto de la invención se puede llevar a cabo mediante el método del pre-polímero, en donde la adición de las nanopartículas se realiza mezclándolas con cada uno de los monómeros. El proceso de síntesis del compuesto de la presente invención incluye las etapas a) b) y c).

De esta manera se pueden generar tres materiales compuestos diferentes: un primer material donde las nanopartículas funcionalizadas son adicionadas en un diisocianato, el cual puede ser metileno difenil diisocianato (MDI), dicitclohexilmetano diisocianato (HMDI), hexametileno diisocianato (HDI), tolueno diisocianato (TDI), butano diisocianato (BDI) o sus mezclas. Un segundo material donde las nanopartículas funcionalizadas son mezcladas con un macrodiol, el cual puede ser óxido de politetrametileno (PTMO), policaprolactona diol (PCL), hidroxil poliacrilato poliol; y un tercer material donde las nanopartículas funcionalizadas son adicionadas con el extensor de cadena, el cual puede ser un diol de bajo peso molecular seleccionado de: etilenglicol, butano diol (BDO), hexanodiol, ciclohexano dimetanol, isosorbido diol.

a) fundir un diisocianato en una atmósfera con gas inerte

En la síntesis del material compuesto de la presente invención se funde inicialmente un diisocianto a una temperatura entre 50°C y 80°C o a una temperatura entre 60°C y 70°C en una atmósfera con gas inerte manteniendo agitación constante entre 150 y 500 rpm. En una modalidad del proceso de la invención, el gas inerte se selecciona de: nitrógeno, helio, neón, argón, kriptón, xenón, entre otros.

b) adicionar un macrodiol de manera continua controlando temperatura y agitación hasta obtener un pre-polímero, aumentar nuevamente la temperatura y agitar;

La temperatura se incrementa hasta un valor entre 70°C y 100°C y se adiciona un macrodiol bajo agitación mecánica a entre 100 rpm y 500 rpm o entre 200 rpm y 400 rpm hasta obtener un pre-polímero. Para comprobar que se obtiene un pre-polímero se puede realizar un análisis por espectroscopía infrarroja. En una modalidad del proceso de la invención, la temperatura se incrementa hasta un valor entre 50°C y 80°C o hasta un valor entre 65°C y 70°C.

Después de completar la adición del macrodiol, la reacción se lleva hasta una temperatura entre 80°C y 100°C durante 60 a 120 minutos con agitación entre 200 rpm y 700 rpm o entre 400 rpm y 500 rpm. En una modalidad del proceso de la invención, una vez completada la

adición del macrodiol, la reacción se lleva a una temperatura entre 100°C y 130 °C. En otra modalidad del proceso de la invención, la reacción se mantiene durante 80 a 110 minutos.

c) adicionar un extensor de cadena

5

Finalmente, se adiciona un extensor de cadena al pre-polímero en un solo paso y es agitado durante 3 a 20 minutos o entre 5 y 10 minutos.

d) curar el composito

10

La etapa de curado del composito se puede llevar a cabo mediante cualquier método conocido en la técnica. En una modalidad del proceso de la invención, el composito se dispone sobre una lámina de teflón, donde es curado a una temperatura entre 100°C y 150°C o entre 110°C y 130°C bajo una atmosfera de gas inerte.

15

El composito de la presente invención se caracteriza por ser un material biocompatible y bioestable. El composito de la presente invención está caracterizado porque tiene las siguientes propiedades (Tabla 1):

20

Tabla 1

Propiedad [unidad]	Rango
Módulo de Young [MPa]	20 – 100
Deformación de la fractura [%]	250 – 400
Dureza Shore A [%]	75 – 100
Tensión a la fractura [MPa]	25 – 50
Trabajo de adhesión [mJ/m ²]	70– 150

La incorporación de nanopartículas de minerales u óxidos metálicos tipo multinúcleo funcionalizadas con proteínas, permite una fuerte interacción con los segmentos duros y blandos del poliuretano, con lo que se mejoran las propiedades mecánicas y adhesivas del composito de la invención, ampliando su aplicación a la restauración y/o reemplazo de tejidos.

Así, por Ejemplo, el cartílago articular natural presenta un valor de módulo de Young de 18 MPa, mientras que la presente invención logra obtener valores entre 40 y 65 MPa. Por otro lado, los valores de Energía Libre de Superficie del cartílago natural están alrededor de 60 mN/m comparado con 52 mN/m del composito de la presente invención, lo que indica una gran similitud con el cartílago natural. Que comparado con el caso del polietileno de ultra alto peso molecular (empleado para prótesis) tiene una Energía Libre de Superficie de 31 mN/m, lo que representa un valor muy alejado del medido para el cartílago natural.

35

El composito de la presente invención puede ser empleado en la reparación o reemplazo de músculos cardíacos, nervios, vasos sanguíneos, huesos, cartílagos, fibrocartílagos, meniscos, cresta iliaca, entre otros.

- 5 La presente invención será presentada en detalle a través de los siguientes ejemplos, los cuales son suministrados solamente con propósitos ilustrativos y no con el objetivo de limitar su alcance.

EJEMPLOS

10

Ejemplo 1. Obtención de nanopartículas funcionalizadas de carbonato de calcio en forma de polvo seco de carbonato de sodio y caseinato de sodio

- 15 Se preparó una solución de carbonato de sodio 0,1 M y 2,0% caseinato de sodio. De igual forma, se preparó una solución de cloruro de calcio a una concentración de 0,3 M. Las soluciones fueron mezcladas rápidamente empleando un homogenizador de alta presión que permite el ingreso por separado al equipo de las dos soluciones, para obtener nanopartículas de carbonato de calcio funcionalizadas. La presión de trabajo del homogenizador fue de 28 MPa.

20

- Las nanopartículas de carbonato de calcio tipo multinúcleo y funcionalizadas con proteína obtenidas presentaron un tamaño promedio en intensidad de 180 nm (FIG. 1), con partículas primarias entre 10 y 30 nm (FIG. 2), según la técnica de dispersión de luz dinámica y microscopia electrónica de transmisión, respectivamente, con un contenido de carbonato de calcio de 50% y de proteína de 50%. La suspensión de nanopartículas posteriormente se filtró y se lavó con agua dos veces, para luego ser secada a 60°C y obtener nanopartículas de carbonato de calcio en forma de polvo seco.

25

- ### Ejemplo 2. Obtención de nanopartículas funcionalizadas de carbonato de calcio en forma de polvo seco de carbonato de calcio y caseinato de sodio

30

- Siguiendo el procedimiento del Ejemplo 1, se obtuvieron nanopartículas funcionalizadas de carbonato de calcio 0,3M estabilizadas con 1% caseinato de sodio, las cuales presentaron un tamaño promedio en intensidad de 170nm, según la técnica de dispersión de luz dinámica, y no se sedimentaron hasta por tres meses al ser medidas en un tensiómetro automático dotado con accesorio para determinar sedimentación.

35

Ejemplo 3. Obtención de nanopartículas funcionalizadas de carbonato de calcio en forma de polvo seco de carbonato de calcio y caseinato de sodio

40

Siguiendo el procedimiento del Ejemplo 1, se obtuvieron nanopartículas funcionalizadas de carbonato de calcio 0,2M estabilizadas con 1% caseinato de sodio, las cuales presentaron un tamaño promedio en intensidad de 150nm, según la técnica de dispersión de luz dinámica, y no se sedimentaron hasta por dos meses al ser medidas en un tensiómetro automático dotado con accesorio para determinar sedimentación.

Ejemplo 4. Obtención de nanopartículas de carbonato de calcio en forma de polvo seco de carbonato de calcio, caseinato de sodio y quercetina

Siguiendo el procedimiento del Ejemplo 1, se obtuvieron nanopartículas funcionalizadas de carbonato de calcio 0,1M estabilizadas con 1% caseinato de sodio y 0,1% de quercetina, presentaron un tamaño promedio en intensidad de 190nm, según la técnica de dispersión de luz dinámica, y no se sedimentaron hasta por tres meses al ser medidas en un tensiómetro automático dotado con accesorio para determinar sedimentación. La eficiencia de encapsulación de la quercetina fue del 60% medida mediante la técnica de espectrofotometría UV-Vis.

Ejemplo 5. Síntesis de un compuesto de poliuretano

Para la síntesis del poliuretano se fundieron 43,3g de metil bis(p-fenil isocianato) (MDI, por sus siglas en inglés) en un reactor a 70°C aplicando agitación continua de 400 rpm y en atmósfera de nitrógeno para evitar reacciones de oxidación. Posteriormente se adicionaron 82 g del diol de poli(tetra metilenoóxido) (PTMO, por sus siglas en inglés) con peso molecular de 2000 g/mol durante 30 minutos y con 200 rpm de agitación. Una vez se completó la adición del PTMO, se elevó la temperatura del reactor a 85°C y se mantuvo durante 90 minutos.

Luego se realizó la adición rápida de 11,4g de 1,4-butanodiol (BDO, por sus siglas en inglés) y 0,69g de nanopartículas funcionalizadas de carbonato de calcio funcionalizadas con proteína (obtenidas según el Ejemplo 1) y dispersas inicialmente en el BDO. Todo el sistema se mantuvo a 85°C durante 5 minutos. Posteriormente fue vaciado a un plato de teflón y curado a 110°C por 4 horas en un horno con recirculación de nitrógeno.

La microestructura del compuesto obtenido fue observada mediante microscopía electrónica de barrido (FIG. 3).

Ejemplo 6. Síntesis de un compuesto de poliuretano

Para la síntesis del poliuretano se fundieron 43,3g de metil bis(p-fenil isocianato) (MDI, por sus siglas en inglés) en un reactor a 70°C aplicando agitación continua de 400 rpm y en atmósfera de nitrógeno para evitar reacciones de oxidación. Posteriormente se adicionaron

al reactor 82 g del diol de poli(tetra metilenóxido) (PTMO, por sus siglas en inglés) con peso molecular de 2000 g/mol durante 30 min y con 200 rpm de agitación. Una vez se completó la adición del PTMO, se elevó la temperatura del reactor a 85°C y se mantuvo durante 90 minutos.

5

Luego, se realizó la adición rápida de 11,4g de 1,4-butanodiol (BDO, por sus siglas en inglés) y 2,8 g de nanopartículas de carbonato de calcio (obtenidas según el Ejemplo 1) funcionalizadas con proteína y dispersas inicialmente en el BDO. Todo el sistema se mantuvo a la temperatura de 85°C durante 5 minutos. Posteriormente el composito fue vaciado a un plato de teflón y curado a 110°C por 4 horas en un horno con recirculación de nitrógeno.

10

La microestructura del composito fue observada mediante microscopía electrónica de barrido (FIG. 4).

15

Ejemplo 7. Propiedades mecánicas del composito obtenido mediante el Ejemplo 5 y el Ejemplo 6

Las propiedades mecánicas de compositos obtenidos según el Ejemplo 5 y el Ejemplo 6, fueron determinadas en una máquina universal 4202 de Instron empleando una carga de 5 kN y una velocidad de 10 mm/min a 25°C, usando probetas tipo IV obtenidas mediante moldeo por inyección.

20

La dureza shore A fue medida empleando un durómetro PCT a 25°C. Finalmente, el trabajo de adhesión fue calculado a partir de las energías libres de superficie obtenidas mediante la teoría de van Oss al medir los ángulos de contacto con diyodometado y agua en un tensiómetro K12 de Krüss. Los resultados se ilustran en la Tabla 2.

25

Tabla 2

Propiedades	Composito Ejemplo 5	Composito Ejemplo 6
Módulo de Young	65 MPa	40 MPa
Deformación a la fractura	280%	357%
Esfuerzo al 200% de deformación	15,3 MPa	10,6 MPa
Dureza shore A	87,2%	85,3%
Trabajo de adhesión	107,6 mN/m	108,7 mN/m

30