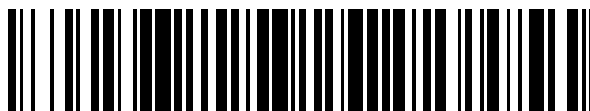


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 760 015**

51 Int. Cl.:

C09D 5/00 (2006.01)
C08J 7/04 (2006.01)
C09J 5/00 (2006.01)
H01L 23/00 (2006.01)
B82Y 30/00 (2011.01)
C08J 3/00 (2006.01)
C08J 3/24 (2006.01)
C08J 5/00 (2006.01)
C08J 5/24 (2006.01)
C08K 9/10 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **23.09.2015** **E 15186474 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.09.2019** **EP 3000850**

54 Título: **Composición que comprende nanopartículas de polímero para el control de tasas de reacción y procedimiento de fabricación**

30 Prioridad:
23.09.2014 US 201414493373

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
12.05.2020

73 Titular/es:
THE BOEING COMPANY (100.0%)
100 North Riverside Plaza
Chicago, IL 60606-1596, US

72 Inventor/es:
WILENSKI, MARK S;
MEURE, SAMUEL J y
KOZAR, MICHAEL P

74 Agente/Representante:
CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel

ES 2 760 015 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Composición que comprende nanopartículas de polímero para el control de tasas de reacción y procedimiento de fabricación.

Campo

- 5 La presente divulgación se refiere en general a materiales compuestos y, más particularmente, al uso de nanopartículas de polímero en estructuras compuestas de capas para el control de la velocidad de reacción de resina durante el curado de la resina.

Antecedentes

- 10 La fabricación de una estructura compuesta puede incluir el corte de capas compuestas, hasta formas predeterminadas. Antes del corte hasta formas, las capas compuestas pueden ser impregnadas previamente con una mezcla de resina y agente de curado (por ejemplo, capas de preimpregnado) y pueden ser no curadas o parcialmente curadas. Las capas cortadas pueden ser apiladas una sobre otra, sobre una superficie herramienta (por ejemplo, una superficie de molde) para formar una estructura compuesta de capas. Cada capa puede estar dispuesta de modo que las fibras están orientadas en una dirección específica de acuerdo con una secuencia de
15 apilamiento de capa. Puede colocarse una bolsa de vacío sobre la estructura compuesta de capas y puede aplicarse presión de vacío para consolidar la estructura compuesta de capas, para retirar aire y arrugas de la estructura compuesta de capas y ajustar la estructura compuesta de capas a la superficie herramienta. La temperatura de la estructura compuesta de capas puede ser elevada para reducir la viscosidad de la resina, de modo que en cada capa de preimpregnado la resina puede fluir y/o entremezclarse con la resina de capas adyacentes de
20 preimpregnado.

- La temperatura elevada de la estructura compuesta de capas puede iniciar un proceso de curado para la resina. Durante el proceso de curado, la estructura compuesta de capas puede ser mantenida a una o más temperaturas elevadas por un periodo de tiempo predeterminado, para curar la resina hasta un estado solidificado o curado. El curado de la resina puede involucrar una reacción de entrecruzamiento delante la cual la resina cambia de un líquido a un sólido. Puede generarse calor debido a la reacción de entrecruzamiento.
25

- Hasta el inicio del proceso de formación de estructura de capas, los preimpregnados termoendurecidos tienen que ser almacenados típicamente a temperaturas relativamente bajas (por ejemplo, a 0 grados F (-18°C) o menos) para evitar la degradación de la resina y el curado adicional de la resina, que de otro modo puede ocurrir si el preimpregnado es almacenado a temperatura ambiente. A este respecto, un preimpregnado termoendurecido tiene
30 un limitado tiempo disponible, el cual puede ser descrito como la cantidad de tiempo que puede permanecer el preimpregnado a temperatura ambiente, antes de que el preimpregnado comience a perder su facilidad de manufactura. Por ejemplo, un exceso en el tiempo disponible de un preimpregnado puede dar como resultado una reducción de la adhesión o carácter pegajoso de la capa de preimpregnado, que es necesaria para estabilizar la capa contra el movimiento durante la formación de estructura de capas. Adicionalmente, si se excede el tiempo disponible de un preimpregnado, puede resultar una mayor viscosidad de la resina durante el proceso de curado, y que puede comprometer la habilidad para consolidar completamente la estructura compuesta de capas, para alcanzar la fracción deseada del volumen de fibra en la estructura compuesta final.
35

- Las estructuras compuestas de capas que son grandes y/o tienen geometría compleja pueden requerir tiempos disponibles extendidos para permitir los múltiples pasos de procesamiento que tienen que ser ejecutados, antes de
40 un curado final de una estructura compuesta de capas. Por ejemplo, la fabricación de una parte compuesta grande puede requerir varias semanas de tiempo disponible a temperatura ambiente para el corte y colocación una sobre otra de las capas compuestas múltiples de preimpregnado, seguido por colocación de bolsa al vacío, consolidación y otros pasos de procesamiento que pueden ser requeridos antes del curado final.

- En resinas termoendurecibles convencionales existe una transacción entre la longitud de tiempo disponible y la
45 temperatura final de curado requerida y tiempo de curado. Una resina termoendurecible formulada para que tenga un prolongado tiempo disponible puede requerir una temperatura de curado relativamente alta o un prolongado tiempo de curado. Una elevada temperatura de curado puede presentar el riesgo de propiedades reducidas de la resina curada y/o distorsión en la forma de la estructura compuesta final. Una resina termoendurecible puede ser formulada para que tenga una temperatura de curado relativamente baja, para evitar limitaciones asociadas con
50 elevadas temperaturas de curado. Sin embargo, una resina con una baja temperatura de curado puede tener un tiempo disponible relativamente corto, lo cual puede presentar desafíos en la fabricación de partes compuestas que son grandes y/o tienen geometría compleja.

El documento WO 2011/059625 se refiere a una partícula compuesta que incluye un polímero con radioactividad inestable y un catalizador encapsulado por el polímero con radioactividad inestable, tal que la aplicación de radiación

ionizante a la partícula, puede liberar al catalizador. El documento US 2002/119331 se refiere a un material adhesivo que incluye un vehículo y microcápsulas distribuidas en el vehículo. Las microcápsulas contienen un agente de curado y/o catalizador, que cuando se combina con el vehículo, inician una reacción de unión.

- 5 Como puede verse, existe una necesidad en la técnica, por un sistema y método de resina que permita un tiempo disponible relativamente largo y que también tenga una temperatura de curado relativamente baja y/o tiempo de curado relativamente corto.

Resumen

La presente invención se refiere a una composición de acuerdo con la reivindicación 1 y un método para la fabricación de una composición de acuerdo con la reivindicación 12.

- 10 Las necesidades notadas anteriormente asociadas con sistemas de resina, son tratadas específicamente por la presente divulgación, que suministra una composición que puede incluir una resina termoendurecible, que contiene una pluralidad de nanopartículas de polímero, en la que las nanopartículas de polímero incluyen una primera nanopartícula de polímero y una segunda nanopartícula de polímero, en las que la segunda nanopartícula de polímero está formada a partir de un material diferente a las primeras nanopartículas de polímero. Por lo menos
15 algunas de las nanopartículas de polímero pueden degradarse o por lo menos disolverse parcialmente en la resina, y liberar un catalizador o un agente de curado durante un proceso de curado de resina. El catalizador o agente de curado pueden alterar la velocidad de reacción de la resina.

- También se divulga un método para la fabricación de una composición. El método puede incluir la mezcla de nanopartículas de polímero soluble y/o semisoluble en una resina termoendurecible, y la degradación o por lo menos
20 disolución parcial de las nanopartículas de polímero en la resina durante el curado de la resina, en la que las nanopartículas de polímero incluyen una primera nanopartícula de polímero y una segunda nanopartícula de polímero, estando la segunda nanopartícula de polímero formada de un material diferente a las primeras nanopartículas de polímero. El método puede incluir además la liberación de un catalizador o un agente de curado desde las nanopartículas de polímero, durante la disolución de las nanopartículas de polímero, para alterar la
25 velocidad de reacción de la resina.

Los rasgos, funciones y ventajas que han sido discutidos pueden ser logrados independientemente en diferentes realizaciones de la presente divulgación, o pueden ser combinados en todavía otras realizaciones, detalles adicionales de las cuales pueden ser vistos con referencia a la siguiente descripción y los dibujos abajo.

Breve descripción de los dibujos

- 30 Estos y otros rasgos de la presente divulgación serán más evidentes por referencia a los dibujos, en los que los números similares se refieren a partes similares a lo largo de ellos, y en los que:

La figura 1 es un diagrama de bloque de una estructura compuesta de capas, que incluye fibras incorporadas en la resina, que contiene nanopartículas de polímero configuradas para liberar un catalizador o agente de curado durante un proceso de curado de resina;

- 35 la figura 2 es una vista en perspectiva de una estructura compuesta de capas que incluye una pila de capas unidireccionales;

la figura 3 muestra una sección transversal de una porción de la estructura compuesta de capas;

la figura 4 es una vista ampliada de una porción de la estructura compuesta de capas, tomada a lo largo de la línea 4 de la figura 3 y que muestra una pluralidad de nanopartículas de polímero en la resina;

- 40 la figura 5 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina no curada, tomada a lo largo de la línea 5 de la figura 4 e ilustra nanopartículas de polímero que contienen un catalizador;

la figura 6 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina no curada, que contiene nanopartículas de polímero, en la que algunas de las nanopartículas de polímero incluyen un catalizador y algunas de las nanopartículas de polímero incluyen un agente de curado;

- 45 la figura 7 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina no curada que contiene nanopartículas de núcleo-envoltura, en la que cada una tiene una envoltura que encapsula un núcleo que incluye un catalizador o un agente de curado;

la figura 8 es una gráfica de un ciclo de curado de dos pasos para una resina termoendurecible no modificada, que no contiene nanopartículas de polímero e ilustra la temperatura, tasa de curado y grado de curado durante el ciclo

de curado de dos pasos de la resina termoendurecible no modificada;

la figura 9 es una gráfica del ciclo de curado de dos pasos para una resina que ha sido modificada con nanopartículas de polímero, configurada para liberar un catalizador durante un primer mantenimiento de temperatura del ciclo de curado de dos pasos;

- 5 la figura 10 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina no curada que contiene nanopartículas de núcleo-envoltura, en las que las envolturas tienen diferente espesor de envoltura;

la figura 11 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina no curada que contiene nanopartículas de núcleo-envoltura, en la que las envolturas tienen diferentes materiales de envoltura;

- 10 la figura 12 es una gráfica de un ciclo de curado de dos pasos para una resina modificada con nanopartículas de polímero, que libera progresivamente un catalizador durante un primer mantenimiento de temperatura del ciclo de curado de dos pasos;

la figura 13 es una gráfica de un ciclo de curado para una resina modificada con nanopartículas de polímero, que liberan progresivamente un catalizador durante un primer mantenimiento de temperatura de manera que permiten que se alcance el curado completo durante el primer mantenimiento de temperatura;

- 15 la figura 14 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina no curada que contiene nanopartículas de polímero, en la que cada una contiene partículas de catalizador dispersas a través de la nanopartícula de polímero;

la figura 15 es una gráfica del ciclo de curado para una resina que contiene nanopartículas de polímero desembolsadas uniformemente a través de la resina y que permiten que se logre el curado completo durante el primer mantenimiento de temperatura;

- 20 la figura 16 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina no curada que contiene nanopartículas de polímero soluble, formadas de material termoplástico y que contienen un catalizador;

la figura 16A es una ilustración esquemática de la disolución parcial de las nanopartículas de polímero termoplástico en la resina, dando como resultado un gradiente de tenacidad alrededor de la ubicación de cada una nanopartícula de polímero;

- 25 la figura 16B es una ilustración esquemática de una de las nanopartículas de polímero semisoluble de la figura 16A e ilustra esquemáticamente un gradiente de tenacidad que se extiende desde un centro de partícula hacia la resina base que rodea la nanopartícula de polímero;

la figura 17 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden ser incluidas en un método para la fabricación de una composición.

- 30 Descripción detallada

Haciendo referencia a los dibujos en los que las demostraciones están para propósitos de ilustración de diferentes realizaciones de la divulgación, la figura 1 se muestra un diagrama de bloques de una estructura 100 compuesta que puede ser fabricada a partir de una estructura 102 compuesta de capas. La estructura 102 compuesta de capas puede incluir una composición 110 de resina 112 termoendurecible que contiene una pluralidad de nanopartículas 200 de polímero. En algunos ejemplos, la composición 110 puede incluir además fibras 116 de refuerzo o estopas de fibra arregladas en una cualquiera de una variedad de formas de fibra, tales como cinta unidireccional, tela tejida, fibra trenzada y otras formas de fibra. Cada una de las fibras 116 puede incluir puede estar formada por una pluralidad de filamentos 118 de refuerzo. En algunos ejemplos, nanopartículas 200 de polímero pueden estar acopladas a uno o más filamentos 118 de refuerzo.

- 40 De manera ventajosa, por lo menos algunas de las nanopartículas 200 de polímero en la matriz de resina termoendurecible pueden estar configuradas para liberar un catalizador 204 y/o agente 208 de curado dentro de la resina 112 durante el proceso de curado de la resina, como un medio para alterar la cinética de curado de la resina. Por ejemplo, la liberación de catalizador 204 y/o agente 208 de curado dentro de la resina 112 puede aumentar la velocidad de reacción de la resina 112 durante el proceso de curado. En algunos ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar configuradas para degradarse o por lo menos disolverse parcialmente a una temperatura y/o tiempo predeterminados en la resina 112. En otros ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden disolverse completamente en la resina 112. La degradación o por lo menos disolución parcial de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 112 puede causar la liberación de catalizador 204 y/o agente 208 de curado que puede estar incluido con las nanopartículas 200 de polímero.

- 50 En la presente divulgación, un catalizador 204 puede ser descrito como una sustancia no reactiva que puede

promover la reacción de entrecruzamiento requerida para el curado de la resina. Un agente 208 de curado puede ser descrito como un componente reactivo que está mezclado con la resina 112 en una proporción predeterminada y que reacciona o forma entrecruzamiento con la resina 112 durante el proceso de curado de la resina, causando que la resina 112 transite de manera irreversible de un estado líquido a un estado sólido. En la presente divulgación, una mezcla 114 de resina puede ser descrita como resina 112 y nanopartículas 200 de polímero. Como se indicó anteriormente, algunas de las nanopartículas 200 de polímero pueden contener catalizador 204 y/o agente 208 de curado, para alterar la velocidad de reacción de la resina 112.

Sin embargo, una mezcla 114 de resina puede contener también nanopartículas de polímero que tienen una funcionalidad diferente a la alteración de la velocidad de reacción de resina, o tales nanopartículas de polímero que tienen una funcionalidad adicional a la alteración de la velocidad de reacción de la resina. Por ejemplo, una mezcla 114 de resina puede contener nanopartículas 200 de polímero que pueden estar formadas por material termoplástico que puede tener una mayor tenacidad que la tenacidad de la resina no modificada. Las nanopartículas 200 de polímero termoplástico pueden estar configuradas para disolverse por lo menos parcialmente en la resina 112, lo cual puede dar como resultado un aumento en la tenacidad de la resina 112, respecto a la resina sin las nanopartículas 200 de polímero termoplástico. Por ejemplo, una mezcla 114 de resina puede incluir nanopartículas 200 de polímero para mejorar el módulo de la resina, resistencia, coeficiente de expansión térmica (CTE), resistencia a la inflamabilidad, niveles de humo y toxicidad, conductividad eléctrica y/o resistencia a la corrosión. Adicionalmente, una resina 112 puede incluir nanopartículas 200 de polímero para reducir el encogimiento por curado, calor de reacción, y/o para mejorar otras propiedades de una estructura 102 compuesta de capas y/o estructura 100 compuesta formada a partir de una estructura 102 compuesta de capas.

En la presente divulgación, las nanopartículas 200 de polímero pueden ser usadas en un proceso de infusión de resina, en el que se infunde resina 112 líquida dentro de una estructura 102 de fibra seca compuesta de capas, después de lo cual pueden aplicarse calor y/o presión, para curar la estructura 102 compuesta de capas y formar una estructura 100 compuesta final. Adicionalmente, la presente divulgación contempla la incorporación de las nanopartículas 200 de polímero dentro de la resina 112 que puede ser usada para impregnar previamente una cualquiera o más de una variedad de diferentes formas de fibra, tales como estopas de fibra preimpregnada, cinta unidireccional preimpregnada, tela tejida preimpregnada, fibras trenzadas preimpregnadas, y otras formas preimpregnadas. Las formas de fibra preimpregnada pueden estar dispuestas en una estructura 102 compuesta de capas, después de lo cual puede aplicarse calor y/o presión para curar la estructura 102 compuesta de capas. En algunos ejemplos, el catalizador 204 y/o agente 208 de curado pueden estar dispersos de manera sustancialmente uniforme a través de una o más de las nanopartículas 200 de polímero. En otros ejemplos, por lo menos una porción de las nanopartículas 200 de polímero puede ser nanopartícula 212 de núcleo-envoltura, como se describe posteriormente. En uno cualquiera de los ejemplos divulgados en esta memoria, el catalizador 204 y/o agente 208 de curado pueden estar en forma sólida o en forma semisólida y pueden ser en la resina 112.

Aumentando la velocidad de reacción de la resina, pueden reducirse la temperatura de curado y/o el tiempo de curado de la resina 112, respecto a la resina sin las nanopartículas 200 de polímero. A este respecto, la resina 112 puede ser formulada para que tenga un mayor tiempo disponible que la resina 112, que carece de las nanopartículas 200 de polímero, para los mismos tiempos de curado y temperatura de curado. Un aumento en el tiempo disponible de la resina 112 puede permitir el desempeño de pasos de procesamiento múltiple (por ejemplo, corte de capa, estructura de capas, aplicación de bolsa al vacío, consolidación, etc.) sin una reducción en la facilidad de fabricación de la resina 112 antes del curado final. Una reducción en la temperatura de curado puede reducir o evitar el riesgo de exceder la temperatura de degradación o la temperatura de combustión de la resina 112, que de otro modo puede resultar en daño por sobrecalentamiento de la estructura 102 compuesta de capas, o puede dar como resultado la distorsión de la forma de la estructura 100 final compuesta. Una reducción en el tiempo de curado de la resina 112 puede dar como resultado una reducción en el tiempo total de manufactura de la estructura 100 compuesta y puede permitir una mayor tasa de producción. Aunque las nanopartículas 200 de polímero son descritas en el contexto de una estructura 102 compuesta de capas, las nanopartículas 200 de polímero puede ser incluidas en las resinas 112 que pueden ser usadas como adhesivos, recubrimientos, plásticos moldeables por inyección y otras aplicaciones.

La figura 2 ilustra de manera esquemática una estructura 102 compuesta de capas formada como una pila de capas 104 compuestas. En el ejemplo mostrado, las capas 104 compuestas son capas 108 unidireccionales. Sin embargo, las capas 104 compuestas pueden ser suministradas en una cualquiera de una variedad de diferentes formas de fibra incluyendo, pero sin limitarse a, cinta unidireccional, tela tejida, fibras trenzadas, formas de fibra hilvanada, formas de fibra picada y en tipos de forma de fibra de rizada y no rizada. En el ejemplo mostrado, las capas 108 unidireccionales pueden ser capas de fibra seca que puede estar infundida con una resina 112 líquida que contiene nanopartículas 200 de polímero, o las capas 108 unidireccionales pueden ser capas de preimpregnado que pueden estar impregnadas previamente con resina 112 que contiene nanopartículas 200 de polímero. Una capa 108 unidireccional puede estar hecha de una pluralidad de cintas 120 unidireccionales dispuestas lado a lado. Cada una de las capas 108 unidireccionales puede incluir fibras 116 continuas paralelas de refuerzo o estopas de fibra. En la

presente divulgación, los términos fibra, fibra compuesta, fibra de refuerzo y estopa de fibra puede ser usados de manera intercambiable. Cada estopa de fibra puede estar formada como un haz de varios miles de filamentos 118 de refuerzo (por ejemplo, hasta 100,000 o más filamentos de refuerzo). En algunos ejemplos, un filamento 118 de refuerzo puede tener un ancho de sección transversal de filamento o diámetro de 5-30 micrones. Por ejemplo, un filamento 118 de carbón de refuerzo puede tener un ancho de sección transversal de filamento, de aproximadamente 5-7 micrones. Los filamentos 118 de vidrio de refuerzo pueden tener un ancho de sección transversal de filamento de 10-25 micrones.

La figura 3 muestra una sección transversal de una porción de la estructura 102 compuesta de capas e ilustra las orientaciones de los filamentos 118 de refuerzo que forman las capas 104 compuestas. Como puede verse, los filamentos 118 de refuerzo en cada capa 108 unidireccional pueden estar orientados en diferentes ángulos respecto a los filamentos 118 de refuerzo adyacentes en capas 108 unidireccionales. En el ejemplo mostrado, los filamentos 118 de refuerzo en las tres capas 104 compuestas superiores y en las tres inferiores, están orientados en un ángulo de 45 grados respecto uno a otro. Sin embargo, una cualquiera de las capas 104 compuestas puede incluir fibras 116 de refuerzo orientadas en relación paralela o no paralela a cualquiera de las otras capas 104 compuestas en la estructura 102 compuesta de capas.

Como se indicó anteriormente, puede formarse una estructura 102 compuesta de capas usando capas 104 de preimpregnado compuestas. Las nanopartículas 200 de polímero que contienen catalizador 204 y/o agente 208 de curado pueden ser aplicadas a filamentos 118 de refuerzo y/o estopas de fibra durante operaciones de impregnación previa. De modo alternativo, puede formarse una estructura 102 compuesta de capas, usando capas de fibra seca compuestas que posteriormente pueden ser infundidas con resina 112 que contiene catalizador 204 y/o agente 208 de curado. Por ejemplo, puede infundirse una mezcla 114 de resina que comprende resina 112 que contiene nanopartículas 200 de polímero con catalizador 204 y/o agente 208 de curado, dentro de capas de fibra seca compuestas, usando uno cualquiera de una variedad de procesos de infusión de resina adecuados. De modo alternativo, puede colocarse una o más películas de resina que contienen nanopartículas 200 de polímero con catalizador 204 y/o agente 208 de curado, entre una o más capas de fibra seca compuestas. Después de la infusión de la estructura 102 compuesta de capas con una mezcla 114 de resina, puede consolidarse la estructura 102 compuesta de capas y puede aplicarse calor y/o presión para curar la resina 112, para formar una estructura 100 compuesta.

La resina puede ser una resina 112 termoendurecible formada por uno cualquiera de los siguientes materiales termoendurecibles: poliuretanos, fenólicos, poliimidas, polímero sulfonado (sulfuro de polifenileno), un polímero conductor (por ejemplo, polianilina), benzoxazinas, bismaleimidas, ésteres de cianato, poliésteres, epoxis, y/o silsesquioxanos. Las nanopartículas 200 de polímero pueden estar formadas de material termoplástico y/o material termoendurecible. El material termoplástico puede incluir acrílicos, fluorocarbonos, poliamidas, poliolefinas (por ejemplo, polietilenos, polipropilenos), poliésteres, policarbonatos, poliuretanos, poliariletercetona (por ejemplo, polieteretercetona (PEEK), polietercetona (PEKK), polietercetona (PEKEK)), etc.), polieterimidas, polietersulfona, polisulfona, y polifenilsulfona. Las nanopartículas 200 de polímero pueden estar formadas de uno cualquiera de los materiales termoendurecibles mencionados anteriormente. Los filamentos 118 de refuerzo pueden estar formados de materiales tales como carbones, carburo de silicio, boro, cerámica y material metálico. Los filamentos 118 de refuerzo pueden estar formados también de vidrio tal como vidrio E (vidrio aluminoborosilicato), vidrio S (vidrio aluminosilicato), sílice pura, vidrio de borosilicato, vidrio óptico y otras composiciones de vidrio.

La figura 4 es una vista ampliada de una porción de la estructura 102 compuesta de capas de la figura 3 e ilustra una pluralidad de nanopartículas 200 de polímero en la resina 112. Por lo menos una porción de las nanopartículas 200 de polímero puede contener catalizador 204 y/o agente 208 de curado. De manera ventajosa, las nanopartículas 200 de polímero pueden ser suministradas en un ancho 202 de sección transversal de partícula o diámetro relativamente pequeño, respecto al ancho de sección transversal de filamento de los filamentos 118 de refuerzo. El ancho 202 de sección transversal de partícula relativamente pequeño puede minimizar el efecto sobre la viscosidad de la resina. Por ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un ancho 202 de sección transversal de partícula o diámetro de aproximadamente 10-200 nanómetros. En otros ejemplos, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un ancho de sección transversal entre 10-100 nanómetros. Sin embargo, para ciertas aplicaciones, las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un ancho de sección transversal de hasta 2 micrones. De manera ventajosa, el tamaño relativamente pequeño de las nanopartículas 200 de polímero minimiza el riesgo de curado prematuro de la porción exterior de las nanopartículas 200 de polímero, lo cual puede de otro modo prevenir la disolución de la porción interior de las nanopartículas 200 de polímero. En algunos ejemplos, pueden usarse nanopartículas 200 de polímero de diferentes tamaños. Por ejemplo por lo menos algunas de las nanopartículas 200 de polímero pueden tener un ancho 202 de sección transversal de partícula que puede ser diferente de la sección transversal de partícula de otras nanopartículas 200 de polímero en la mezcla 114 de resina.

El tamaño relativamente pequeño de las nanopartículas 200 de polímero habilitó al catalizador 204 y/o agente 208 de curado para ser distribuidos de manera sustancialmente uniforme a través de la resina 112 para afectar de

manera uniforme la velocidad de reacción de la resina, a través del volumen de la estructura 102 compuesta de capas. En el ejemplo mostrado, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar incluidas entre los filamentos 118 de refuerzo de las cintas 120 unidireccionales que conforman la estructura 102 compuesta de capas. Adicionalmente, las regiones 106 interlaminares entre capas 104 compuestas adyacentes pueden incluir también una distribución uniforme de nanopartículas 200 de polímero. Incluso más, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar incluidas en los espacios entre los bordes de lados opuestos de pares adyacentes de cinta unidireccional. Para las estructuras 102 compuestas de capas formadas usando otras formas de fibra, tales como tela tejida o fibras trenzadas, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar distribuidas uniformemente de modo similar a través de la estructura 102 compuesta de capas, para afectar de manera uniforme la velocidad de reacción de la resina a través de la estructura 102 compuesta de capas.

Por ejemplo, puede formarse una estructura 102 compuesta de capas de cinta 120 unidireccional preimpregnada que contiene nanopartículas 200 de polímero con catalizador 204 y/o agente 208 de curado. Después de adelgazar y/o consolidar la estructura 102 compuesta de capas, puede aplicarse calor para reducir la viscosidad de la resina 112 y permitir que la mezcla 114 de resina de cada una de las capas 108 unidireccionales fluya y se entremezcle con la mezcla 114 de resina de otras capas 108 unidireccionales. La entremezcla de la mezcla 114 de resina puede dar como resultado que las nanopartículas 200 de polímero se tornen en general distribuidas de manera uniforme a través de la estructura 102 compuesta de capas. La aplicación de calor puede iniciar el proceso final de curado y puede acelerar la degradación y/o disolución de las nanopartículas 200 de polímero, causando la liberación de catalizador 204 y/o agente 208 de curado, para alterar la velocidad de reacción, como se describe en mayor detalle posteriormente.

La figura 5 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 112 no curada. La resina 112 incluye nanopartículas 200 de polímero que contienen o incluyen un catalizador 204. Las nanopartículas 200 de polímero pueden estar distribuidas de manera sustancialmente uniforme en la resina 112 y pueden ser totalmente solubles en la resina 112. Por ejemplo, una nanopartícula 200 de polímero puede estar comprendida de una mezcla de termoplástico soluble o semisoluble y un catalizador 204. A medida que el termoplástico se disuelve dentro de la resina 112, el catalizador 204 puede ser liberado progresivamente dentro de la resina 112 para alterar (por ejemplo, aumentar) la velocidad de reacción de la resina 112. Adicionalmente, la disolución del termoplástico puede dar como resultado aumentos localizados en la tenacidad de la resina 112 para reducir o evitar la propensión al inicio de ruptura o crecimiento de ruptura en la resina 112.

Las nanopartículas 200 de polímero pueden ser suministradas en una forma generalmente redondeada o esférica que, en combinación con un ancho 202 de sección transversal de partícula relativamente pequeño, puede minimizar efectos de las nanopartículas 200 de polímero sobre la viscosidad de la resina, incluso a niveles de concentración relativamente altos de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 112. En un ejemplo, la mezcla 114 de resina puede incluir hasta aproximadamente 75 por ciento en volumen de nanopartículas 200 de polímero, con mínimos efectos sobre la viscosidad de la resina.

A este respecto, la viscosidad de la mezcla 114 de resina puede ser controlada primariamente mediante la resina 112 base. En otros ejemplos, una mezcla 114 de resina puede incluir de 5-50 por ciento en volumen de nanopartículas 200 de polímero. En un ejemplo adicional, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir de 10-40 por ciento en volumen de una mezcla 114 de resina. En un ejemplo todavía adicional, las nanopartículas 200 de polímero pueden constituir de 20-40 por ciento en volumen de una mezcla 114 de resina. La forma generalmente redondeada o esférica de las nanopartículas 200 de polímero puede evitar el interbloqueo de las nanopartículas 200 de polímero con otras nanopartículas 200 de polímero o interbloqueo con filamentos 118 de refuerzo, como de otro modo puede ocurrir con nanopartículas que tienen forma no esférica o irregular, que pueden tener bordes o esquinas agudos. Sin embargo, la presente divulgación contempla nanopartículas de polímero suministradas en formas diferentes a formas esféricas y pueden incluir formas oblongas o elípticas, y otras formas tridimensionales incluyendo, pero sin limitarse a, cubos, rectángulos, pirámides y otras formas.

De manera ventajosa, el tamaño relativamente pequeño de las nanopartículas de polímero 202, 204 totalmente soluble o semisoluble, permite una dispersión sustancialmente uniforme del material disuelto de nanopartícula dentro de la resina, en la ubicación de cada nanopartícula. Más específicamente, el tamaño relativamente pequeño de las nanopartículas (por ejemplo, 10-200 nm) da como resultado una longitud de ruta relativamente corta (por ejemplo, en el orden de nanómetros) para que el material disuelto de nanopartícula se mezcle con la resina en la ubicación (previa) de cada nanopartícula. Por ejemplo, en arreglos en los que nanopartículas de polímero 202, 204 totalmente soluble o semisoluble están dispersas uniformemente a través de una estructura compuesta de capas, el tamaño pequeño de las nanopartículas 202, 204 da como resultado distribución sustancialmente uniforme del material disuelto de nanopartícula dentro de la resina a través de la estructura compuesta de capas, dando como resultado uniformidad en las propiedades mejoradas de la resina a través de la estructura compuesta. De modo similar, en arreglos donde nanopartículas de polímero 202, 204 totalmente soluble o semisoluble son aplicados localmente a regiones focalizadas tales como entre capas compuestas, entre bordes de lados opuestos de estopas de fibra que

están lado a lado, y/o en bolsas ricas en resina, el tamaño pequeño de las nanopartículas 202, 204 permite una distribución sustancialmente uniforme del material disuelto de nanopartícula, dentro de la resina en las regiones focalizadas y dando como resultado uniformidad en las propiedades mejoradas de la resina y/o estructura compuesta en tales regiones focalizadas.

5 La figura 6 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 112 no curada que contiene nanopartículas 200 de polímero, en las que algunas de las nanopartículas 200 de polímero incluyen un catalizador 204 y algunas de las nanopartículas 200 de polímero incluyen un agente 208 de curado. Las nanopartículas 200 de polímero pueden estar configuradas para disolverse progresivamente dentro de la resina 112, causando la liberación progresiva de catalizador 204 y agente 208 de curado dentro de la resina 112, para alterar la velocidad de reacción de la resina. En un ejemplo, la resina 112 termoendurecible puede ser una resina 112 epoxi y el agente 208 de curado puede ser una amina. Por ejemplo, el agente 208 de curado puede ser diaminodifenil sulfona. Sin embargo, pueden usarse otros agentes de curado 208. En algunos ejemplos, la resina puede incluir primeras nanopartículas de polímero que contienen o comprenden un agente 208 de curado, y segundas nanopartículas de polímero que contienen o comprenden catalizador 204. Las primeras nanopartículas de polímero pueden estar configuradas para disolverse por lo menos parcialmente en un tiempo diferente a las segundas nanopartículas de polímero, tal que el agente 208 de curado es liberado dentro de la resina en un tiempo diferente a la liberación de catalizador 204 dentro de la resina. Por ejemplo, las primeras nanopartículas de polímero pueden estar configuradas para disolverse por lo menos parcialmente antes que las segundas nanopartículas de polímero, tal que el agente 208 de curado es liberado dentro de la resina antes de la liberación del catalizador 204.

20 La figura 7 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 112 no curada que contiene nanopartículas 212 de núcleo-envoltura. Cada nanopartícula 212 del núcleo-envoltura incluye una envoltura 214 que encapsula un núcleo 228. La envoltura 214 puede estar formada de por lo menos uno de los siguientes materiales termoplásticos: acrílicos, fluorocarbonos, poliamidas, poliolefinas, poliésteres, policarbonatos, poliuretanos, poliariletercetonas, y polieterimidas. Sin embargo, la envoltura 214 puede estar formada de uno cualquiera de los materiales descritos anteriormente, a partir de los cuales pueden formarse las nanopartículas 200 de polímero. La envoltura 214 puede ser degradable o puede disolverse por lo menos parcialmente en la resina 112. La degradación o disolución por lo menos parcial de la envoltura 214 puede permitir que la resina 112 entre en contacto con el núcleo. El núcleo 228 puede incluir o contener un catalizador 204 o un agente 208 de curado. El núcleo 228 puede ser configurado para disolverse en la resina 112. El contacto de la resina 112 con un núcleo 228 de disolución que contiene catalizador 204 puede dar como resultado cualquier aumento en la velocidad de reacción de la resina 112. El contacto de la resina 112 con un núcleo 228 de disolución que contiene agente 208 de curado puede permitir que se complete el entrecruzamiento con la resina 112.

La figura 8 es un gráfico de un ciclo 250 de curado de dos pasos para una resina 112 termoendurecible no modificada que no contiene nanopartículas de polímero. La gráfica contrasta la temperatura 256, la tasa 258 de curado, y el grado 260 de curado de la resina 112 termoendurecible no modificada, durante el tiempo 262 de curado durante el ciclo 250 de curado de dos pasos. En la figura 8, la resina 112 comienza a temperatura ambiente. La tasa 258 de curado puede ser sustancialmente constante antes de la aplicación de calor a la resina. La resina 112 puede comenzar con un grado 260 de curado relativamente bajo. Por ejemplo, la resina 112 puede ser inicialmente sustancialmente no curada. La temperatura de la resina puede ser incrementada hasta un primer mantenimiento 252 de temperatura, que puede dar como resultado un aumento en la tasa 258 de curado y dar como resultado un aumento en el grado 260 de curado de la resina 112 no modificada. Después del primer mantenimiento 252 de temperatura por un período predeterminado del tiempo, la temperatura puede ser incrementada nuevamente hasta un segundo mantenimiento 254 de temperatura, el cual puede dar como resultado un pico en la tasa 258 de curado y un aumento gradual en el grado 260 de curado de la resina 112. Al final del segundo mantenimiento 254 de temperatura, puede reducirse la temperatura, tal como interrumpiendo la aplicación de calor a la resina 112, tiempo después del cual la resina 112 puede estar de modo sustancial completamente curada.

La figura 9 es una gráfica de un ciclo 250 de curado de dos pasos para una resina 112 que ha sido modificada con nanopartículas 200 de polímero. Para la resina modificada, las curvas de temperatura 264, tasa 266 de curado, y grado 268 de curado son mostradas en líneas punteadas. Para la resina 112 no modificada, las curvas de la temperatura 256, tasa 258 de curado, y grado 260 de curado son mostradas en líneas sólidas como en la figura 8. En el ejemplo de la figura 9, las nanopartículas 200 de polímero están configuradas como nanopartículas 212 de núcleo-envoltura incluyendo una envoltura 214 que encapsula un núcleo 228 que contiene o está formado de catalizador 204. La envoltura 214 puede ser soluble. También se muestran ilustraciones esquemáticas de nanopartículas 200 de polímero, que representan las etapas de disolución de la envoltura 214 y núcleo 228 dentro de la resina 112, a medida que el ciclo de curado progresa. Las nanopartículas 200 de polímero pueden permanecer en un estado sólido por debajo de una temperatura y tiempo predeterminados durante el curado de la resina, y las nanopartículas 200 de polímero pueden degradarse o disolverse por lo menos parcialmente en la resina 112 por encima de la temperatura y tiempo predeterminados durante el curado la resina.

En la figura 9, puede aplicarse calor a la resina 112 causando un aumento en la temperatura 264 de la resina 112, desde temperatura ambiente hasta un primer mantenimiento 252 de temperatura. Cuando la temperatura alcanza el primer mantenimiento 252 de temperatura, la envoltura 214 puede comenzar a degradarse o disolverse por lo menos parcialmente dentro de la resina 112 y lo cual puede resultar en el inicio de una liberación progresiva de catalizador 204 dentro de la resina 112. La liberación de catalizador 204 dentro de la resina 112 puede incrementar la tasa 266 de curado y puede permitir que la resina 112 alcance un grado 268 de curado relativamente mayor durante el primer mantenimiento 252 de temperatura, que el grado 260 de curado logable con resina que carece de catalizador y/o agente de curado de nanopartículas 200 de polímero. Al final del primer mantenimiento 252 de temperatura, puede incrementarse nuevamente la temperatura hasta un segundo mantenimiento 254 de temperatura, lo cual puede dar como resultado un pico en la tasa 266 de curado y un incremento adicional en el grado 268 de curado de la resina 112, respecto al grado 260 de curado de resina 112 no modificada. A este respecto, la figura 9 ilustra que la liberación del catalizador 204 durante la adición de las nanopartículas 200 de polímero puede dar como resultado un menor tiempo 262 de curado para alcanzar curado sustancialmente completo, respecto a un mayor tiempo 262 de curado requerido para la resina sin las nanopartículas 200 de polímero.

La figura 10 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 112 termoendurecible no curada que contiene distribuidas uniformemente nanopartículas 200 de polímero de dos tipos diferentes, incluyendo una cantidad de primeras nanopartículas 216 de polímero y una cantidad de segundas nanopartículas 220 de polímero. Las segundas nanopartículas 220 de polímero pueden tener una configuración diferente y/o pueden ser formadas de material diferente a las primeras nanopartículas 216 de polímero. Cada una de las nanopartículas es mostrada configurada como una nanopartícula 212 de núcleo-envoltura. Aunque el núcleo 228 de las nanopartículas 212 del núcleo-envoltura puede comprender un catalizador 204 en el ejemplo mostrado, el núcleo 228 puede comprender opcionalmente de un agente 208 de curado. La envoltura 214 de las primeras nanopartículas 216 de polímero y las segundas nanopartículas 220 de polímero puede estar configurada cada una para degradarse o disolverse por lo menos parcialmente en la resina 112 a una temperatura y tiempo predeterminados causando la liberación del catalizador 204 dentro de la resina 112. Las primeras nanopartículas 216 de polímero pueden tener un primer espesor 218 de envoltura, y las segundas nanopartículas 220 de polímero pueden tener un segundo espesor 222 de envoltura, que puede ser diferente al primer espesor 218 de envoltura, tal que el primer espesor 218 de envoltura puede tener un tiempo de disolución en la resina 112 diferente al segundo espesor 222 de envoltura.

La figura 11 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 112 no curada cargada con dos tipos diferentes de resina 212 de núcleo-envoltura, en las que las envolturas 214 están formadas de diferentes materiales. La envoltura 214 de las primeras nanopartículas 216 de polímero puede estar formada de un primer material 224 de envoltura, y la envoltura 214 de las segundas nanopartículas 220 de polímero puede estar formada de un segundo material 226 de envoltura, que puede tener una solubilidad que puede ser diferente a la solubilidad del primer material 224 de envoltura. Aunque no se muestra, una mezcla 114 de resina puede incluir opcionalmente tres o más tipos de nanopartículas 200 de polímero. Por ejemplo, una mezcla 114 de resina puede incluir terceras nanopartículas de polímero que pueden tener una configuración y/o material diferentes de la primera y/o segunda nanopartículas 216, 220 de polímero. Por ejemplo, la envoltura de una tercera nanopartícula de polímero puede estar formada de un tercer material de envoltura y/o puede tener un tercer espesor de envoltura que puede tener una temperatura y/o tiempo de disolución en la resina 112 diferentes al primer y segundo material y/o espesor de envoltura. Como se indicó anteriormente, la resina 112 puede incluir cualquier número de diferentes tipos de nanopartículas 200 de polímero, para ejecutar diferentes funcionalidades incluyendo, pero sin limitarse a, alteración de la velocidad de reacción de la resina, aumento de la tenacidad de la resina 112, o alteración de una cualquiera de una variedad de las propiedades de la resina 112 descritas anteriormente o el desempeño de una estructura 100 compuesta, fabricada usando la resina 112.

La figura 12 es una gráfica de un ciclo 250 de curado de dos pasos para una resina 112 modificada con dos tipos diferentes de nanopartículas 212 dl núcleo-envoltura, incluyendo una primera nanopartícula 216 de polímero y una segunda nanopartícula 220 de polímero. El gráfico incluye ilustraciones esquemáticas de las nanopartículas 212 de núcleo-envoltura ilustrando las diferentes velocidades de disolución durante el tiempo. Las diferentes velocidades de disolución pueden ser causadas porque las primeras nanopartículas 200 de polímero tengan un primer espesor 218 de envoltura que es diferente al segundo espesor 222 de envoltura de las segundas nanopartículas 220 de polímero. De modo alternativo, las primeras nanopartículas 200 de polímero pueden estar formadas de un primer material 224 de envoltura que pueden ser diferentes al segundo material 226 de envoltura de las segundas nanopartículas 220 de polímero.

Como el resultado del diferente espesor de envoltura o los diferentes materiales de envoltura, las envolturas 214 de la primera y segunda nanopartículas 216 de polímero, 220 pueden disolverse dentro de la resina 112 durante diferentes tiempos durante el ciclo 250 de curado. Por ejemplo, la envoltura 214 de las segundas nanopartículas 220 de polímero tiene un espesor reducido respecto a las primeras nanopartículas 216 de polímero, causando que la envoltura 214 de las segundas nanopartículas 220 de polímero se disuelvan más pronto que las primeras nanopartículas 216 de polímero y liberen catalizador 204 de las primeras nanopartículas 216 de polímero para

causar un incremento en la tasa 266 de curado de la resina 112 durante el incremento en la temperatura 264 hasta el primer mantenimiento 252 de temperatura. La envoltura 214 de las primeras nanopartículas 216 de polímero puede estar configurada para disolverse poco tiempo después de la disolución de la envoltura 214 de las segundas nanopartículas 216 de polímero. La liberación del catalizador 204 adicional de las segundas nanopartículas 216 de polímero puede mantener la tasa 266 de curado en un nivel relativamente alto a través del primer mantenimiento 252 de temperatura y lo cual puede dar como resultado que la estructura 102 compuesta de capas logre un elevado grado 268 de curado al final del primer mantenimiento 252 de temperatura, respecto al grado 260 de curado de resina no modificada al final del primer mantenimiento 252 de temperatura.

En algunos ejemplos, el relativamente alto grado 268 de curado alcanzable durante el primer mantenimiento 252 de temperatura, como un resultado de la liberación progresiva de catalizador 204, puede permitir un curado suficiente de la estructura 102 compuesta de capas, para habilitar a la estructura 102 compuesta de capas para ser retirada de la herramienta y curada posteriormente hasta su estado completamente curado. En un ejemplo adicional, la liberación progresiva de catalizador 204 desde las nanopartículas 200 de polímero puede dar como resultado que la estructura 102 compuesta de capas sea curada hasta su punto de vitrificación al final del primer mantenimiento 252 de temperatura. El curado hasta el punto de vitrificación puede permitir que la estructura 102 compuesta de capas sea curada adicionalmente con un empuje de la temperatura de transición vítrea, mientras mantiene las tensiones residuales sustancialmente equivalentes a la tensión residual generada si la estructura 102 compuesta de capas fuera curada en el primer mantenimiento 252 de temperatura. Un beneficio de una liberación relativamente lenta de catalizador 204 es una reducción en la temperatura máxima de la resina 112 como un resultado de que el calor de reacción de la resina es distribuido durante un periodo de tiempo más largo, tal que no hay un pico tan significativo en la temperatura de la resina. Adicionalmente, una reducción en la temperatura máxima de la resina 112 puede reducir también la distorsión de la forma de la estructura 100 compuesta curada, y puede permitir que la temperatura de la resina 112 sea mantenida por debajo de su límite de temperatura de degradación y/o por debajo de su límite de temperatura de combustión. Además, una reducción en la temperatura máxima de la resina 112 puede evitar que se comprometan la resistencia mecánica y desempeño de la estructura 100 compuesta final.

La figura 13 es una gráfica de un ciclo 250 de curado para una resina 112 modificada con nanopartículas 200 de polímero que liberan progresivamente catalizador 204, de una manera similar a la liberación de catalizador 204 mostrada en la figura 12. Sin embargo, en la figura 13, el catalizador 204 es liberado en una cantidad que causa un incremento en la tasa 266 de curado durante el primer mantenimiento 252 de temperatura, tal que la resina 112 cura completamente durante el primer mantenimiento 252 de temperatura. A este respecto, el aumento en la tasa 266 de curado de resina 112 modificada puede permitir una reducción significativa en tiempo 262 de curado respecto al tiempo 262 de curado de resina no modificada, que tiene el mismo tiempo disponible. Adicionalmente, la temperatura requerida para el curado completo de la resina 112 modificada es menor que la temperatura de resina no modificada, con el mismo tiempo disponible. La reducción en la temperatura final de curado puede dar como resultado ventajosamente una reducción en las tensiones térmicas inducidas y distorsión asociada de la forma final de la estructura compuesta.

La figura 14 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 112 no curada que contiene nanopartículas 200 de polímero. Cada una de las nanopartículas 200 de polímero contiene un catalizador 204 disperso a través de las nanopartículas 200 de polímero. Por ejemplo, el catalizador 204 puede ser separado en partículas 206 de catalizador que pueden estar distribuidas uniformemente a través de las nanopartículas 200 de polímero. De modo alternativo, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar comprendidas por una mezcla de material polimérico soluble o semisoluble tal como material termoplástico y catalizador 204 distribuido de manera uniforme dentro del material polimérico de la nanopartícula 200 de polímero. El material polimérico (por ejemplo, material termoplástico) puede estar configurado para liberar progresivamente el catalizador 204 dentro de la resina 112, a medida que se disuelven las nanopartículas 200 de polímero. En otros ejemplos no mostrados, el material termoplástico puede estar configurado para liberar progresivamente agente 208 de curado dentro de la resina 112, o liberar una combinación de catalizador 204 y agente 208 de curado dentro de la resina 112 a medida que se disuelven las nanopartículas 200 de polímero.

La figura 15 es una gráfica de un ciclo 250 de curado para una resina 112 que contiene nanopartículas 200 de polímero que contienen partículas 206 de catalizador, como se muestra en la figura 14. De manera ventajosa, la dispersión sustancialmente uniforme de las partículas 206 de catalizador a través de cada una de las nanopartículas 200 de polímero puede dar como resultado una liberación controlada de catalizador 204. A medida que se disuelven las nanopartículas 200 de polímero dentro de la resina 112, se libera progresivamente catalizador 204 dando como resultado un incremento en la velocidad de reacción de la resina. La tasa de disolución del material termoplástico y las nanopartículas 200 de polímero puede ser controlada mediante elección de la química del termoplástico.

La figura 16 es una ilustración esquemática de una celda unitaria de resina 112 no curada que contiene nanopartículas 200 de polímero soluble, que contienen un catalizador 204 que puede ser mezclado con material polimérico de las nanopartículas 200 de polímero. En un ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar

formadas por material termoplástico completamente soluble, que contiene el catalizador 204. La figura 16A ilustra esquemáticamente la disolución por lo menos parcial de las nanopartículas 200 de polímero termoplástico, en la resina 112. Debido al aumento en la tenacidad del material termoplástico respecto a la tenacidad de la resina 112, la disolución del material termoplástico da como resultado un gradiente 230 de tenacidad alrededor de la ubicación de cada nanopartícula 200 de polímero.

La figura 16B es una ilustración esquemática de una de las nanopartículas 200 de polímero semisoluble de la figura 16A y muestran un gradiente 230 de tenacidad que se extiende desde un centro 210 de partícula hacia la resina 112 base, rodeando la nanopartícula 200 de polímero. La resina 112 base puede mantener su química original alrededor de la ubicación de cada nanopartícula 200 de polímero. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 de polímero pueden estar formadas por material que suministra funcionalidades específicas que pueden mejorar las propiedades mecánicas de la resina 112 o que pueden mejorar el desempeño de la estructura 100 compuesta final. La disolución de las nanopartículas 200 de polímero puede alterar la velocidad de reacción de la resina, debido a la liberación de catalizador 204 y/o agente 208 de curado, y adicionalmente puede dar como resultado un gradiente 230 de propiedades mecánicas que incluyen tenacidad, módulo, resistencia y otras propiedades alrededor de la ubicación de cada nanopartícula 200 de polímero.

En otros ejemplos, puede incluirse una mezcla de nanopartículas 200 de polímero que contiene un catalizador 204 y nanopartículas 200 de polímero que contienen un agente 208 de curado, en una resina 112 para alcanzar fases de resina que tienen diferentes propiedades espacialmente localizadas dentro de la resina 112. En un ejemplo, una primera nanopartícula 216 de polímero puede contener un catalizador 204 que es liberado dentro de la resina 112 e inicia una reacción de crecimiento de cadena o de entrecruzamiento en la resina 112, que progresa por una cantidad específica de tiempo durante el ciclo 250 de curado, seguida por la liberación de un agente 208 de curado desde una segunda nanopartícula 220 de polímero. El agente 208 de curado liberado puede dar entrecruzamiento con la resina 112 durante el proceso de curado de la resina. Además, dos o más tipos de nanopartículas 200 de polímero pueden estar incluidos en la resina 112 para alcanzar variaciones locales en las propiedades, como un resultado de la formación diferentes químicas, debido a la distancia en que el agente 208 de curado puede difundirse dentro de la resina 112 durante el ciclo 250 de curado de la resina.

Como se indicó anteriormente, el uso de nanopartículas 200 de polímero que contienen catalizador 204 y/o agente 208 de curado suministra un medio para controlar la cinética de reacción de la resina, en una manera que permite un incremento en los tiempos disponibles y una reducción en la temperatura de curado y/o el tiempo de curado. De manera ventajosa, tales nanopartículas 200 de polímero permiten el uso de resinas que de otro modo pueden reaccionar demasiado rápidamente y tienen tiempos disponibles inaceptablemente cortos. Adicionalmente, el uso de nanopartículas 200 de polímero con catalizador 204 y/o agente 208 de curado suministra la habilidad para aumentar y/o estabilizar la tasa de curado de la resina durante un mantenimiento de temperatura, lo cual puede dar como resultado un descenso en la cantidad de tiempo requerido para alcanzar curado completo a una temperatura específica de curado.

La figura 17 es un diagrama de flujo que ilustra una o más operaciones que pueden ser incluidas en un método 300 para la fabricación de una composición 110. La composición 110 puede incluir un adhesivo, un recubrimiento, un plástico tal como para una parte del molde de inyección, una resina para una estructura 102 compuesta de capas reforzada con fibra, o cualquier otro tipo de aplicación que pueda ser formada usando una resina 112 termoendurecible.

El paso 302 del método puede incluir el suministro de una resina 112 termoendurecible en uno cualquiera de los materiales descritos anteriormente. Por ejemplo, la resina 112 puede ser una resina epoxi, una resina de poliéster, o cualquier otro tipo de resina.

El paso 304 del método 300 puede incluir la mezcla de nanopartículas 200 de polímero soluble y/o semisoluble dentro de la resina 112 termoendurecible. En algunos ejemplos, el método puede incluir la mezcla dentro de la resina 112, de una o más configuraciones de nanopartículas 200 de polímero. Por ejemplo, las nanopartículas 200 de polímero pueden incluir un primer tipo de nanopartícula 216 de polímero y un segundo tipo de nanopartícula 220 de polímero, que puede tener una configuración y/o material diferente al primer tipo de nanopartículas 216 de polímero. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 de polímero pueden ser mezcladas dentro de una resina de impregnación previa. De modo alternativo, las nanopartículas 200 de polímero pueden ser mezcladas dentro de una resina líquida, para infusión de resina de fibras secas.

El paso 306 del método 300 puede incluir la incorporación de fibras 116 de refuerzo en la resina 112, antes del curado de la resina 112. Por ejemplo, la resina de impregnación previa que contiene nanopartículas 200 de polímero puede ser aplicada a estopas de fibra, cinta, tela no tejida, fibras trenzadas y otras formas de fibra. En otro ejemplo, puede infundirse resina líquida que contiene nanopartículas 200 de polímero, dentro de una estructura de capas de fibra seca, usando un proceso adecuado de infusión de resina líquida, tal como un moldeo de transferencia de resina

asistido por vacío u otro sistema de infusión de resina. Incluso más, puede colocarse una película de resina que contiene nanopartículas 200 de polímero, entre una o más capas 104 compuestas de fibra seca de una estructura 102 compuesta de capas. Adicionalmente, las nanopartículas 200 de polímero pueden ser añadidas directamente a capas 104 compuestas de fibra seca.

- 5 El paso 308 del método 300 puede incluir el curado de la resina 112. Por ejemplo, puede aplicarse calor a la estructura 102 compuesta de capas, para elevar la temperatura de la resina 112 desde temperatura ambiente. La resina 112 puede ser curada durante un proceso de curado que puede incluir uno o más mantenimientos de temperatura. Por ejemplo, la figura 9 ilustra un proceso de curado de dos pasos, que incluye un primer mantenimiento 252 de temperatura y un segundo mantenimiento 254 de temperatura.
- 10 El paso 310 del método 300 puede incluir la degradación o disolución por lo menos parcial de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 112, durante el curado de la resina 112. Por ejemplo, el método puede incluir la disolución por lo menos parcial de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 112, cuando las nanopartículas 200 de polímero alcanzan un tiempo y temperatura predeterminados. Las nanopartículas 200 de polímero pueden ser formuladas para disolverse a diferentes tiempos y temperaturas. Por ejemplo, un primer tipo de nanopartícula 216 de polímero puede disolverse a una temperatura y tiempo diferentes que un segundo tipo de nanopartícula 220 de polímero. Durante la porción inicial del ciclo de curado, el método puede incluir el mantenimiento de por lo menos algunas de las nanopartículas 200 de polímero en un estado sólido por debajo de una temperatura y tiempo predeterminados, y disolución de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 112, por encima de la temperatura y tiempo predeterminados. Por ejemplo, la figura 9 ilustra gráficamente nanopartículas 212 de núcleo-envoltura, en las que la envoltura 214 previene que la resina 112 haga contacto con el núcleo 228 de catalizador 204, hasta que la estructura 102 compuesta de capas se aproxima o alcanza un primer mantenimiento 252 de temperatura del ciclo 250 de curado, punto en el cual la envoltura 214 se degrada o disuelve en una extensión que permite la liberación del catalizador 204 dentro de la resina 112.
- 15 El paso 312 del método 300 puede incluir la liberación de un catalizador 204 o un agente 208 de curado, desde las nanopartículas 200 de polímero durante la disolución de las nanopartículas 200 de polímero. Como se muestra en la figura 9, el catalizador 204 puede ser liberado cuando es expuesto a la resina 112 después de la disolución de la envoltura 214. Puede ocurrir una disolución similar en nanopartículas de no núcleo-envoltura que pueden liberar progresivamente catalizador 204 o agente 208 de curado, a medida que la nanopartícula 200 de polímero se disuelve. Como se indicó anteriormente, las nanopartículas 200 de polímero pueden incluir primeras nanopartículas 216 de polímero que incluyen catalizador 204 y segundas nanopartículas 220 de polímero que incluyen agente 208 de curado. El método puede incluir la liberación de agente 208 de curado desde el primer tipo de nanopartículas 216 de polímero, seguida por la liberación del catalizador 204 desde el segundo tipo de nanopartículas 220 de polímero, después de liberación del agente 208 de curado.
- 25 Para nanopartículas 212 de núcleo-envoltura, el paso de disolución de las nanopartículas 200 de polímero en la resina 112 puede incluir la disolución de la envoltura 214 en la resina 112 a una temperatura y tiempo predeterminados, y liberación del catalizador 204 o el agente 208 de curado dentro de la resina 112, en respuesta a la disolución de la envoltura 214. Las nanopartículas 212 de núcleo-envoltura pueden incluir primeras nanopartículas 216 de polímero que tienen un primer espesor 218 de envoltura, y segundas nanopartículas 220 de polímero que tienen un segundo espesor 222 de envoltura, diferente del primer espesor 218 de envoltura. El primer espesor 218 de envoltura puede ser disuelto en la resina 112 en un tiempo de disolución diferente al tiempo de disolución del segundo espesor 222 de envoltura. En otro ejemplo, un primer tipo de nanopartícula 216 de polímero puede tener un primer material 224 de envoltura, y un segundo tipo de nanopartícula 220 de polímero puede tener un segundo material 226 de envoltura, el cual puede tener una solubilidad diferente al primer material 224 de envoltura, y dando como resultado que el primer material 224 de envoltura se disuelve en un tiempo de disolución diferente al segundo material 226 de envoltura.
- 35 El paso 314 del método 300 puede incluir la reducción de la temperatura de curado y/o el tiempo de curado de la resina 112 como un resultado de la liberación de un catalizador 204 o un agente 208 de curado en la resina 112. Como se indicó anteriormente, la liberación del catalizador 204 y/o agente 208 de curado puede dar como resultado el curado de la resina 112 dentro de un tiempo de curado que es menor al tiempo de curado de resina sin las nanopartículas 200 de polímero (por ejemplo, resina no modificada). La liberación del catalizador 204 y/o agente 208 de curado puede dar como resultado el curado de la resina 112 a una temperatura de curado que es menor a la temperatura de curado de resina sin las nanopartículas 200 de polímero. La resina 112 modificada puede ser formulada de manera ventajosa para que tenga un mayor tiempo disponible que la resina no modificada que tiene el mismo tiempo de curado y/o temperatura de curado. Para realizaciones de las nanopartículas 200 de polímero comprendidas por una mezcla de material termoplástico soluble o semisoluble y catalizador 204 y/o agente 208 de curado, como se muestra en las figuras 14-15, el método puede incluir la liberación progresiva del catalizador 204 y/o agente 208 de curado desde las nanopartículas 200 de polímero dentro de la resina 112, a medida que las nanopartículas 200 de polímero se degradan o disuelven por lo menos parcialmente.
- 40
- 45
- 50
- 55

Las realizaciones ilustrativas de la divulgación pueden ser descritas en el contexto de un método (no mostrado) de fabricación y/o mantenimiento de una aeronave, nave espacial, satélite u otro componente aeroespacial. La preproducción, fabricación del componente y/o mantenimiento pueden incluir la especificación y diseño de componentes aeroespaciales y adquisición de materiales. Durante la producción tienen lugar la fabricación y subensamble de componentes, y la integración del sistema de componentes aeroespaciales. Después de ello, la aeronave, nave espacial, satélite u otro componente aeroespacial puede ir a través de la certificación y entrega con objeto de ser colocado en servicio.

En un ejemplo, los componentes aeroespaciales producidos mediante el método de fabricación y mantenimiento, pueden incluir un armazón con una pluralidad de sistemas y un interior. Ejemplos de la pluralidad de sistemas pueden incluir uno o más de un sistema de propulsión, un sistema eléctrico, un sistema hidráulico y un sistema ambiental. Puede incluirse cualquier número de otros sistemas. Aunque se muestra un ejemplo aeroespacial, pueden aplicarse diferentes realizaciones ilustrativas a otras industrias, tales como la industria automotriz.

Los aparatos y métodos realizados en la presente memoria pueden ser empleados durante por lo menos una de las etapas de un método de fabricación y/o mantenimiento de un componente aeroespacial. En particular, una estructura 100 compuesta (por ejemplo, figura 1), un recubrimiento, un plástico moldeado por inyección y/o un adhesivo, pueden ser fabricados durante una cualquiera de las etapas del método de fabricación y mantenimiento de un componente aeroespacial. Por ejemplo, sin limitación, puede fabricarse una estructura compuesta durante por lo menos una de fabricación de componentes y subensamble, integración del sistema, mantenimiento rutinario y servicio, o alguna otra etapa de la fabricación y mantenimiento de aeronaves. Todavía más, puede usarse una estructura compuesta en una o más estructuras de componentes aeroespaciales. Por ejemplo, puede incluirse una estructura compuesta en una estructura de un armazón, un interior, o alguna otra parte de una aeronave, nave espacial, satélite u otro componente aeroespacial.

De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, se suministra una composición que comprende: una resina termoendurecible; una pluralidad de nanopartículas de polímero; y por lo menos algunas de las nanopartículas de polímero liberando un catalizador o un agente de curado durante un proceso de curado de resina, en el que el catalizador o agente de curado alteran la velocidad de reacción de la resina. De manera ventajosa, la composición es una en la que las nanopartículas de polímero son esféricas. De manera ventajosa, la composición es una en la que la resina tiene un tiempo disponible más largo que la resina sin nanopartículas de polímero, para el mismo tiempo de curado y/o temperatura de curado. De manera ventajosa, la composición es una en la que la resina está comprendida en al menos uno de los siguientes materiales termoendurecibles: poliuretanos, fenólicos, poliimidas, polímero sulfonado, un polímero conductor, benzoxazinas, bismaleimidas, ésteres de cianato, poliésteres, epoxis, y silsesquioxanos. De manera ventajosa, la composición es una en la que por lo menos algunas de las nanopartículas de polímero están comprendidas por al menos uno de los siguientes: material termoplástico, acrílicos, fluorocarbonos, poliamidas, poliolefinas, poliésteres, policarbonatos, poliuretanos, poliariletercetonas, polieterimidas; material termoendurecible, poliuretanos, fenólicos, poliimidas, polímero sulfonado (sulfuro de polifenileno), un polímero conductor (por ejemplo, polianilina), benzoxazinas, bismaleimidas, ésteres de cianato, poliésteres, epoxis, y silsesquioxanos. De manera ventajosa, la composición es una en la que por lo menos algunas de las nanopartículas de polímero causan que la resina tenga por lo menos una de las siguientes propiedades: tenacidad aumentada, resistencia aumentada a la inflamabilidad, humo reducido, toxicidad reducida, incremento en la conductividad eléctrica, reducido encogimiento por curado, calor de reacción reducido. De manera ventajosa, la composición es una en la que la resina y nanopartículas de polímero con catalizador y/o agente de curado están incluidos en por lo menos uno de los siguientes: un recubrimiento, un adhesivo, un plástico moldeable por inyección, una matriz de resina de una estructura compuesta.

De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación se suministra una estructura compuesta de capas, que comprende una resina termoendurecible; una pluralidad de nanopartículas de polímero incluidas en la resina; por lo menos algunas de las nanopartículas de polímero que liberan un catalizador o un agente de curado durante un proceso de curado, en el que el catalizador o agente de curado alteran una velocidad de reacción de la resina; y una pluralidad de fibras de refuerzo incorporadas dentro de la resina. De manera ventajosa, la estructura compuesta de capas es una en la que las fibras tienen por lo menos una de las siguientes configuraciones: estopas de fibra, cinta unidireccional, tela tejida y/o fibras trenzadas.

De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación se suministra un método para la manufactura de una composición, que comprende la mezcla de nanopartículas de polímero soluble y/o semisoluble dentro de una resina termoendurecible; disolución por lo menos parcial de las nanopartículas de polímero en la resina, durante el curado de la resina; y liberación de un catalizador o un agente de curado desde las nanopartículas de polímero durante la disolución de las nanopartículas de polímero. De manera ventajosa, el método es uno en el que el curado de la resina ocurre dentro de un tiempo de curado que es menor al tiempo de curado de resina sin las nanopartículas de polímero. De manera ventajosa, el método es uno en el que el paso de mezcla de nanopartículas de polímero soluble y/o semisoluble dentro de una resina incluye la mezcla dentro de la resina de una primera nanopartícula de

polímero y una segunda nanopartícula de polímero, que tiene una configuración y/o material diferentes de la primera nanopartícula de polímero. De manera ventajosa, el método es uno en el que el paso de liberación del catalizador o agente de curado incluye la disolución de las primeras nanopartículas de polímero a una temperatura y tiempo diferentes de los de las segundas nanopartículas de polímero. De manera ventajosa, el método es uno en el que las nanopartículas del núcleo-envoltura incluyen una primera nanopartícula de polímero y una segunda nanopartícula de polímero, en el que las primeras nanopartículas de polímero tienen un primer espesor de envoltura, las segundas nanopartículas de polímero tienen un segundo espesor de envoltura, diferente al espesor de la primera envoltura, en el que el paso de disolución por lo menos parcial de las nanopartículas de polímero en la resina incluye: disolución del primer espesor de envoltura en un tiempo de disolución diferente al del segundo espesor de envoltura. De manera ventajosa, el método es uno en el que las nanopartículas de núcleo-envoltura incluyen una primera nanopartícula de polímero y una segunda nanopartícula de polímero, en el que las primeras nanopartículas de polímero tienen un primer material de envoltura, las segundas nanopartículas de polímero tienen un segundo material de envoltura que tiene una solubilidad diferente a la del primer material de envoltura, en el que el paso de disolución por lo menos parcial de las nanopartículas de polímero en la resina incluye la disolución del primer material de envoltura en un tiempo de disolución diferente al del segundo material de envoltura.

Para aquellos de destreza ordinaria en la técnica pueden ser evidentes modificaciones y mejoras adicionales de la presente divulgación. Así, se pretende que la combinación particular de partes descrita e ilustrada en la presente memoria represente sólo ciertas realizaciones de la presente divulgación y no se pretende que sirva como limitación de realizaciones o dispositivos alternativos, dentro del alcance de la divulgación.

REIVINDICACIONES

1. Una composición que comprende:

una resina (112) termoendurecible;

caracterizada porque la composición comprende además:

5 una pluralidad de nanopartículas (200) de polímero, en la que las nanopartículas (200) de polímero incluyen una primera nanopartícula de polímero y una segunda nanopartícula de polímero, en el que la segunda nanopartícula de polímero está formada de un material diferente al de la primera nanopartícula de polímero; y

10 por lo menos algunas de las nanopartículas (200) de polímero están configuradas para liberar un catalizador (204) o un agente (208) de curado durante un proceso de curado de resina, en la que el catalizador (204) o agente (208) de curado está configurado para alterar la velocidad de reacción de la resina.

2. La composición de la reivindicación 1, en la que:

por lo menos algunas de las nanopartículas (200) de polímero están configuradas para degradarse o disolverse por lo menos parcialmente en la resina liberando un catalizador (204) o un agente (208) de curado durante el proceso de curado de la resina.

15 3. La composición de las reivindicaciones 1 y 2, en la que:

el catalizador o agente de curado están configurados para incrementar la velocidad de reacción de la resina, causando así que la resina (112) tenga un tiempo de curado que es menor al tiempo de curado de la resina sin las nanopartículas (200) de polímero.

4. La composición de las reivindicaciones 1-3, en la que:

20 el catalizador o agente de curado están configurados para incrementar la velocidad de reacción de la resina, causando así que la resina (112) tenga una temperatura de curado que es menor a la temperatura de curado de la resina sin las nanopartículas (200) de polímero.

5. La composición de las reivindicaciones 1-4, en la que:

las nanopartículas (200) de polímero tienen un ancho de sección transversal de 10-200 nanómetros.

25 6. La composición de las reivindicaciones 1-5, en la que:

las nanopartículas (200) de polímero constituyen hasta 75 por ciento en volumen de la resina.

7. La composición de la reivindicación 1, en la que:

las primeras nanopartículas de polímero están configuradas para disolverse a una temperatura y tiempo diferentes de los de las segundas nanopartículas de polímero.

30 8. La composición de las reivindicaciones 1-7, en la que:

la primera nanopartícula de polímero incluye agente (208) de curado;

la segunda nanopartícula de polímero incluye catalizador (204); y

35 la primera nanopartícula de polímero está configurada para disolverse y/o liberar por lo menos parcialmente agente (208) de curado a un tiempo diferente del de la segunda nanopartícula de polímero, que disuelve y/o libera por lo menos parcialmente catalizador (204).

9. La composición de las reivindicaciones 1-8, en la que:

por lo menos algunas de las nanopartículas (200) de polímero incluyen nanopartículas (212) de núcleo-envoltura, en la que cada una comprende una envoltura (214) que encapsula un núcleo (228) que contiene el catalizador (204) o el agente (208) de curado.

40 10. La composición de la reivindicación 9, en la que:

las nanopartículas (212) de núcleo-envoltura incluyen las primeras nanopartículas de polímero y las segundas nanopartículas de polímero, en la que las primeras nanopartículas de polímero tienen un primer espesor de envoltura, las segundas nanopartículas de polímero tienen un segundo espesor de envoltura, diferente al primer

espesor de envoltura; y

en la que el primer espesor de envoltura tiene un tiempo de disolución en la resina diferente al del segundo espesor de envoltura.

11. La composición de la reivindicación 9, en la que:

5 por lo menos algunas de las nanopartículas de núcleo-envoltura incluyen las primeras nanopartículas de polímero y las segundas nanopartículas de polímero, en la que la envoltura de las primeras nanopartículas de polímero está formada de un primer material de envoltura que tiene una primera solubilidad, en la que la envoltura de las segundas nanopartículas de polímero está formada de un segundo material de envoltura que tiene una segunda solubilidad que es diferente a la primera solubilidad.

10 12. Un método para la manufactura de una composición, que comprende:

la mezcla de nanopartículas (200) de polímero soluble y/o semisoluble dentro de una resina (112) termoendurecible, en la que las nanopartículas (200) de polímero incluyen una primera nanopartícula de polímero y una segunda nanopartícula de polímero, en la que las segundas nanopartículas de polímero están formadas de un material diferente al de las primeras nanopartículas de polímero;

15 disolución por lo menos parcial de las nanopartículas (200) de polímero en la resina durante el curado de la resina; y liberación de un catalizador (204) o un agente (208) de curado desde las nanopartículas (200) de polímero durante la disolución de las nanopartículas (200) de polímero.

13. El método de la reivindicación 12, en el que:

20 el catalizador o agente de curado incrementa la velocidad de reacción de la resina, causando de ese modo que se reduzca la temperatura de curado y/o tiempo de curado de la resina, respecto a una resina sin las nanopartículas de polímero, causando de ese modo que la resina (112) tenga un tiempo disponible más largo que la resina sin nanopartículas (200) de polímero, para el mismo tiempo de curado y/o temperatura de curado.

25 14. El método de las reivindicaciones 12 y 13, en el que el catalizador o agente de curado incrementa la velocidad de reacción de la resina, causando de ese modo que se reduzca la temperatura de curado de la resina, respecto a una resina sin las nanopartículas de polímero y en el que el método comprende además:

curado de la resina (112) a una temperatura de curado que es inferior a la temperatura de curado de resina sin las nanopartículas (200) de polímero.

30 15. El método de las reivindicaciones 12-14, en el que la primera nanopartícula de polímero contiene o comprende agente (208) de curado, y la segunda nanopartícula de polímero contiene o comprende catalizador (204), en el que el paso de disolución por lo menos parcial de las nanopartículas de polímero en la resina (112) incluye

disolución de las primeras nanopartículas de polímero y liberación del agente (208) de curado dentro de la resina, a un tiempo diferente para la disolución de las segundas nanopartículas de polímero y liberación del catalizador (204) dentro de la resina.

35 16. El método de las reivindicaciones 12-15, en el que por lo menos algunas de las nanopartículas (200) de polímero incluyen nanopartículas de núcleo-envoltura, en el que cada una comprende una envoltura (214) que encapsula un núcleo formado del catalizador (204) o del agente (208) de curado, en el que el paso de disolución por lo menos parcial de las nanopartículas (200) de polímero en la resina incluye:

disolución de la envoltura en la resina (112) a una temperatura y tiempo predeterminados; y

40 liberación del catalizador (204) o del agente (208) de curado dentro de la resina, en respuesta a la disolución de la envoltura.

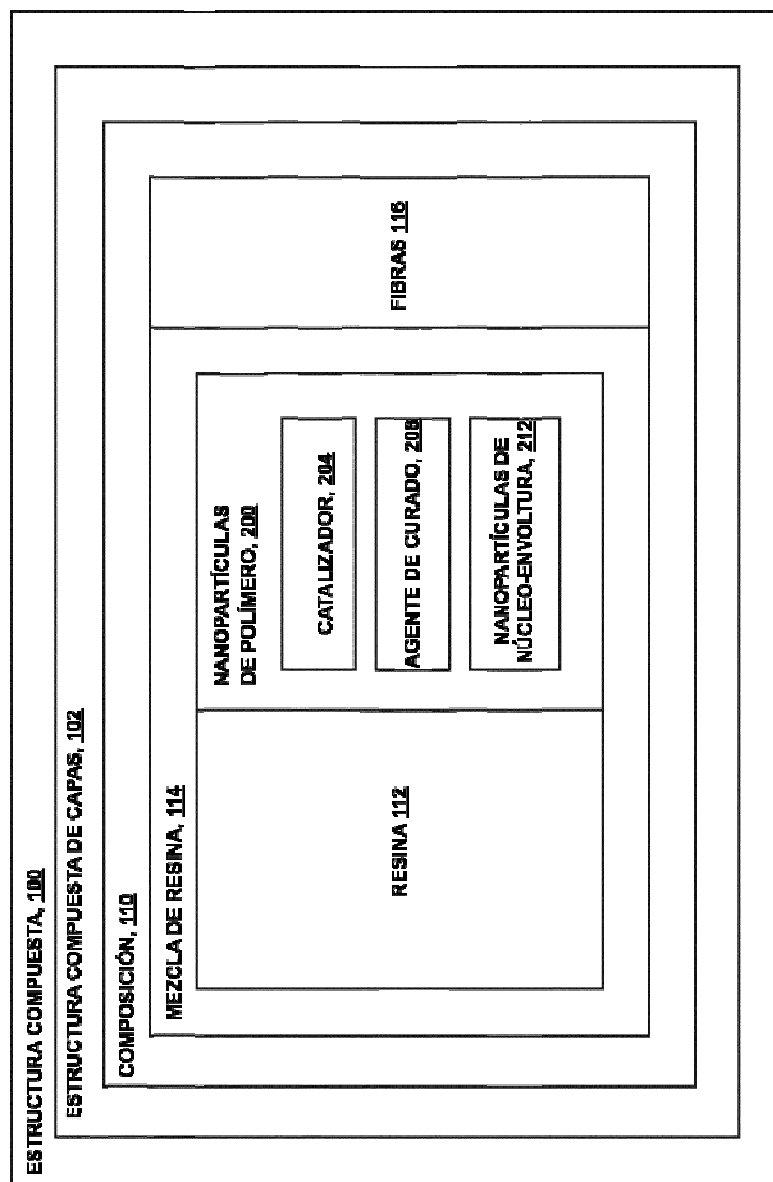


FIG. 1

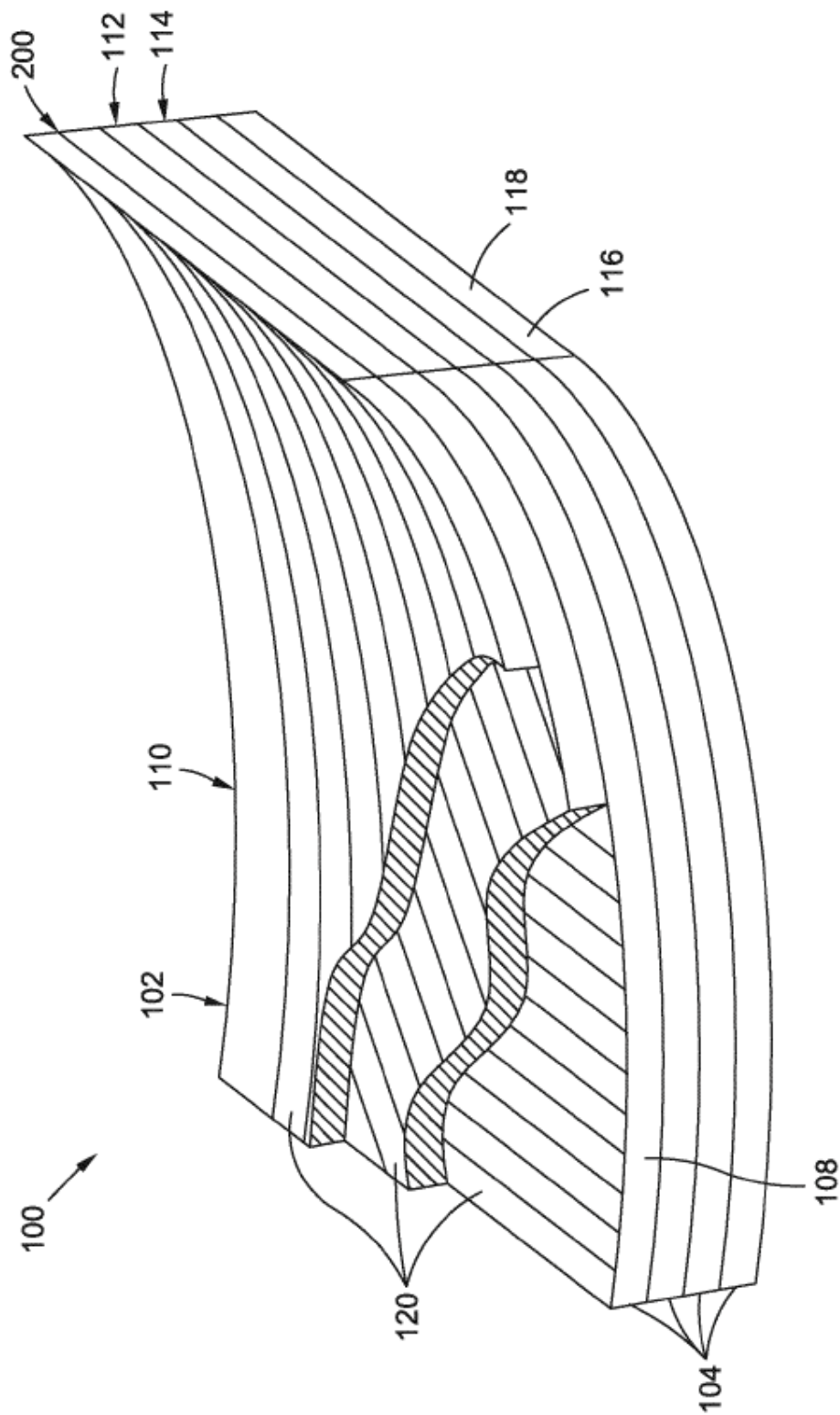


FIG. 2

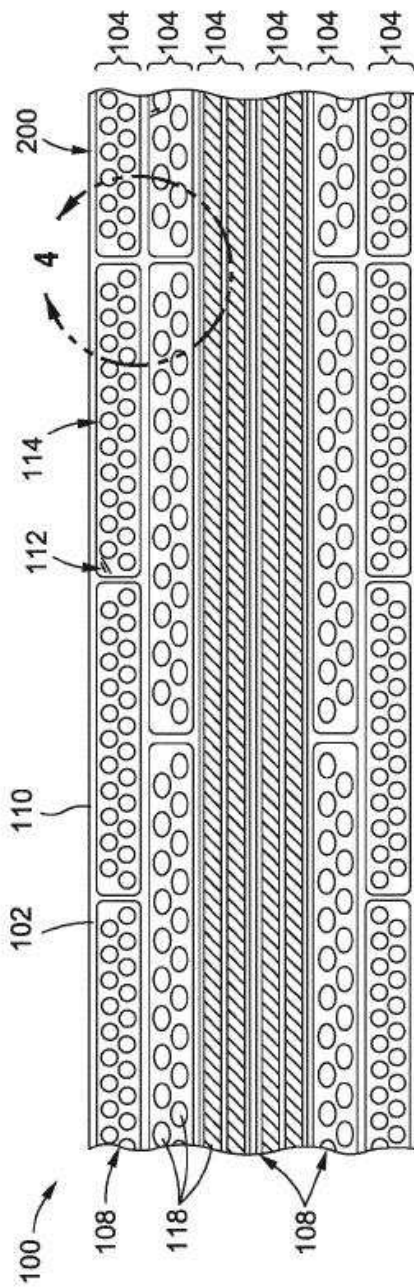


FIG. 3

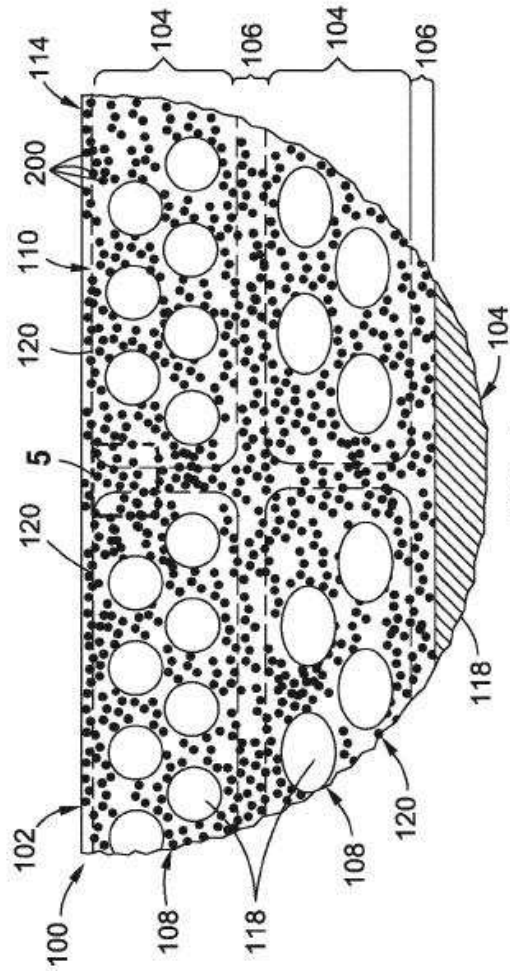


FIG. 4

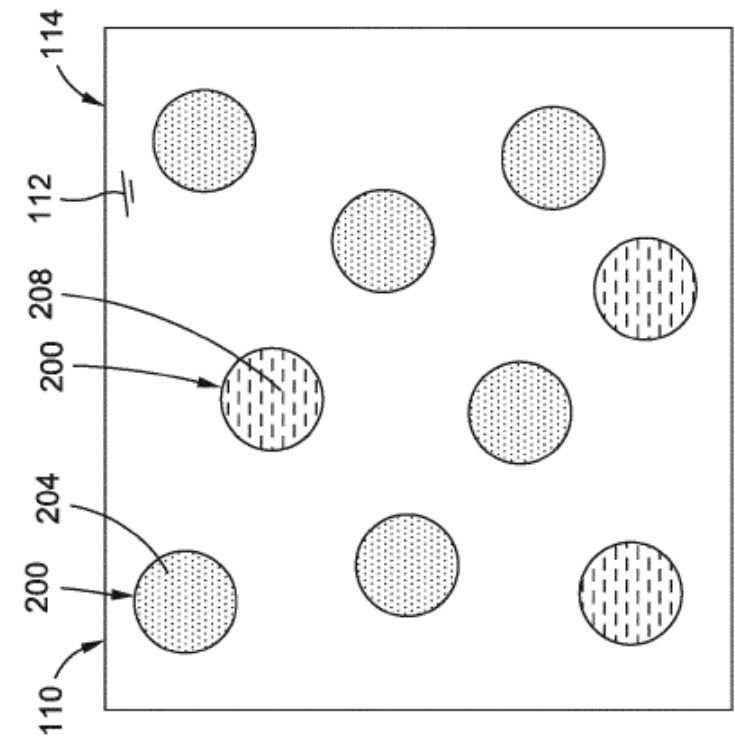


FIG. 6

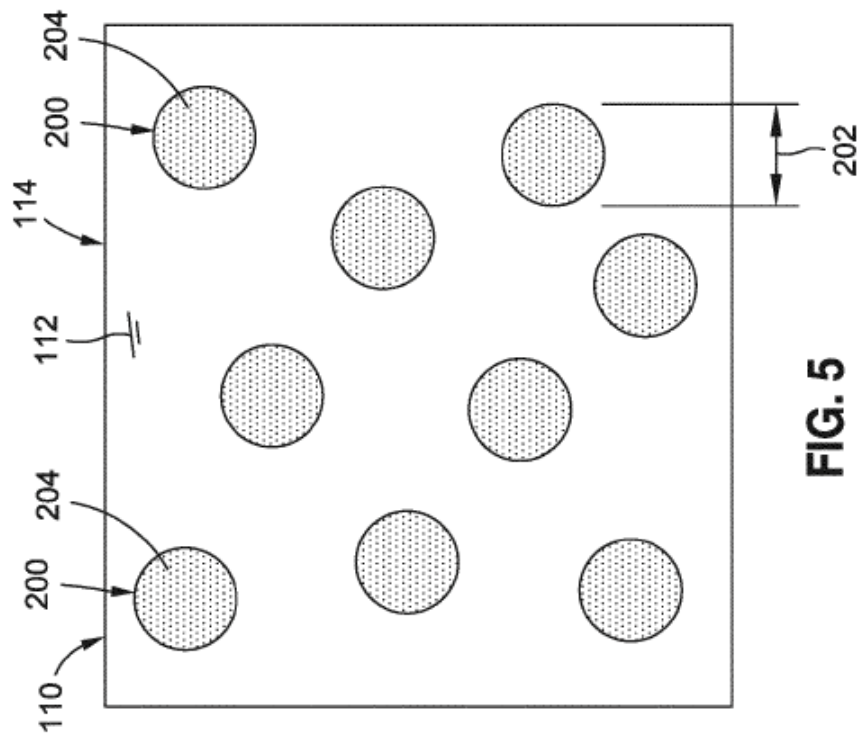


FIG. 5

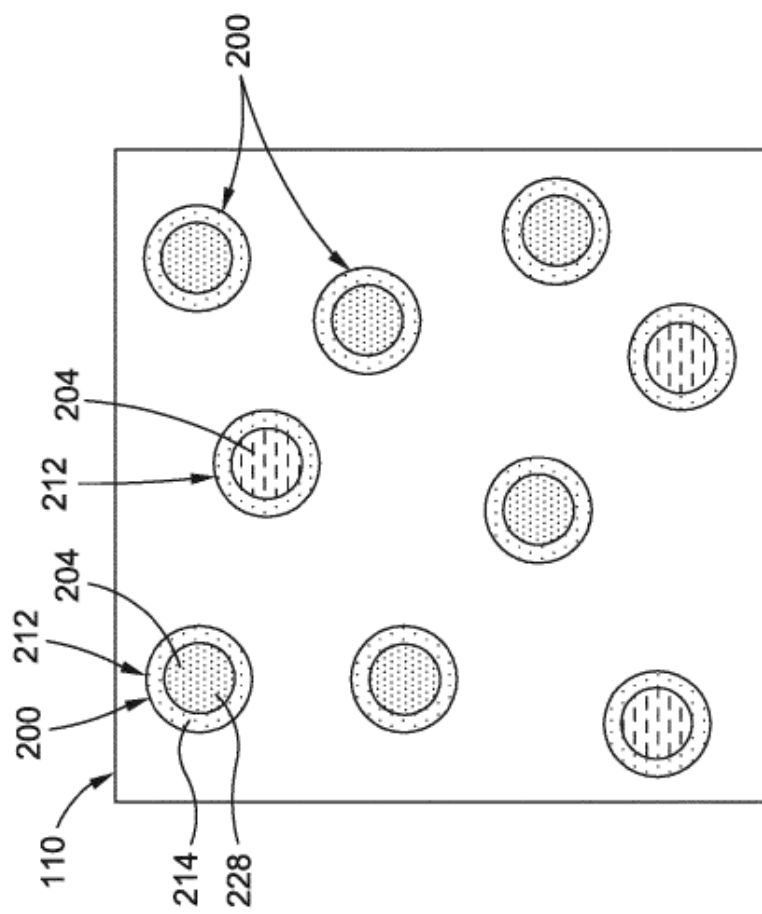
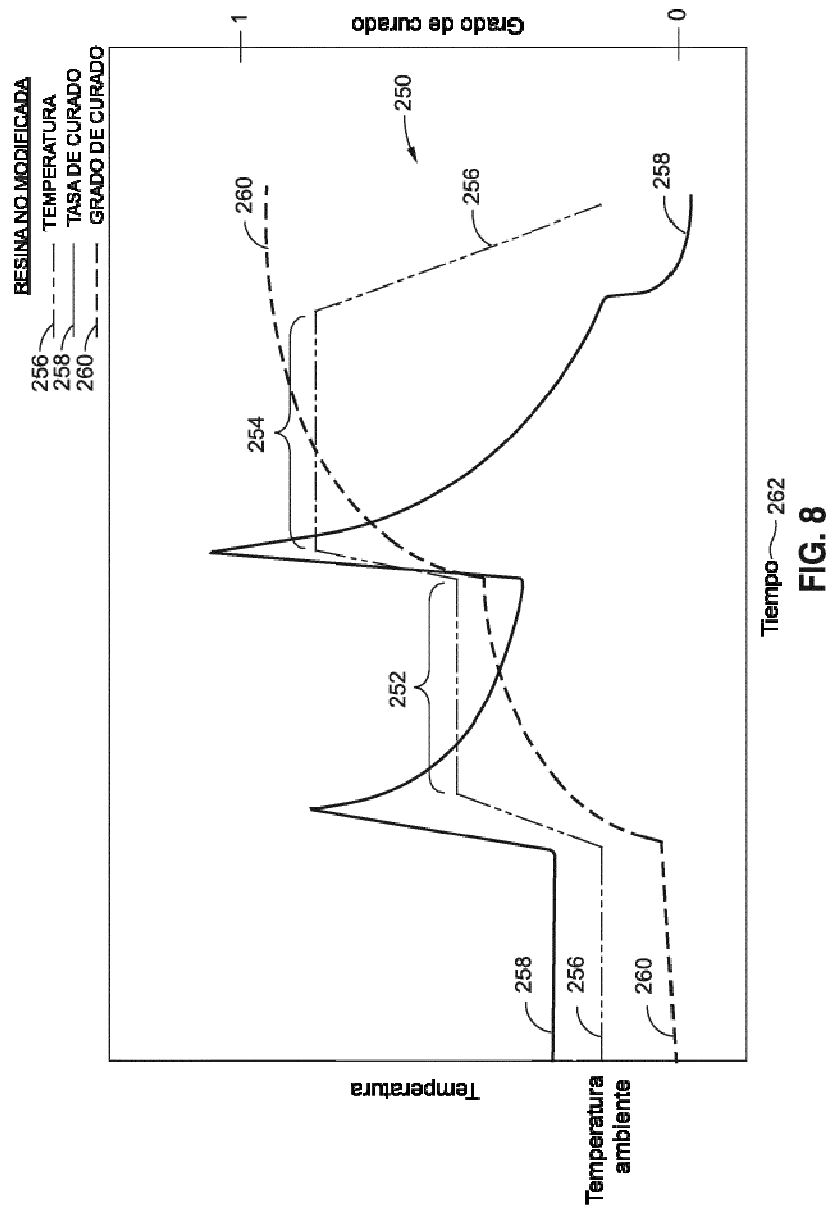


FIG. 7



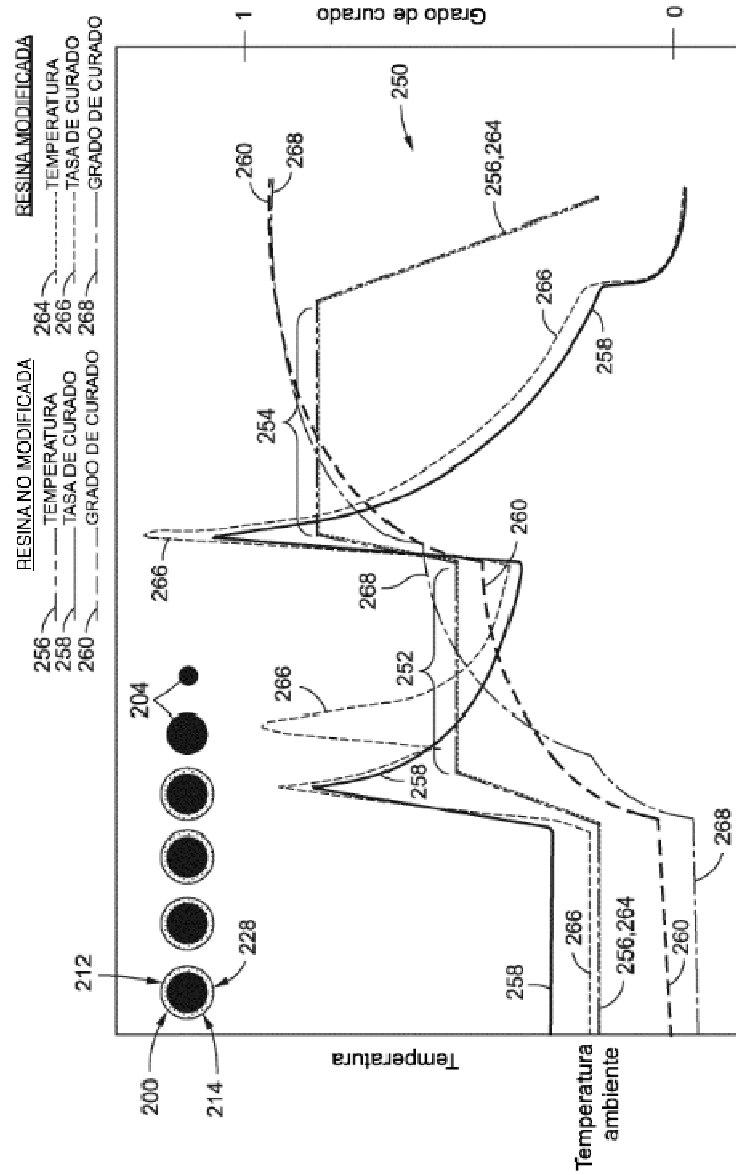
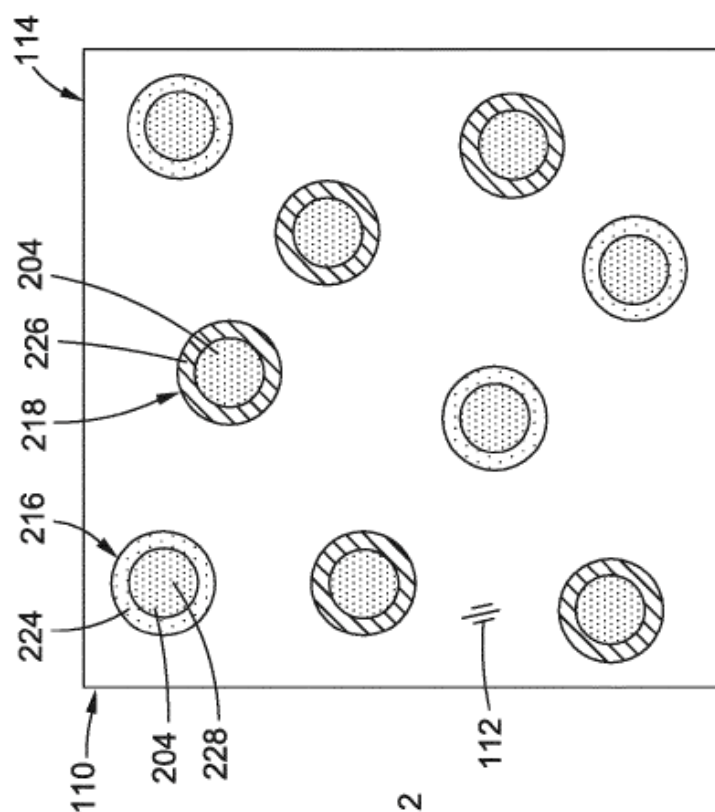
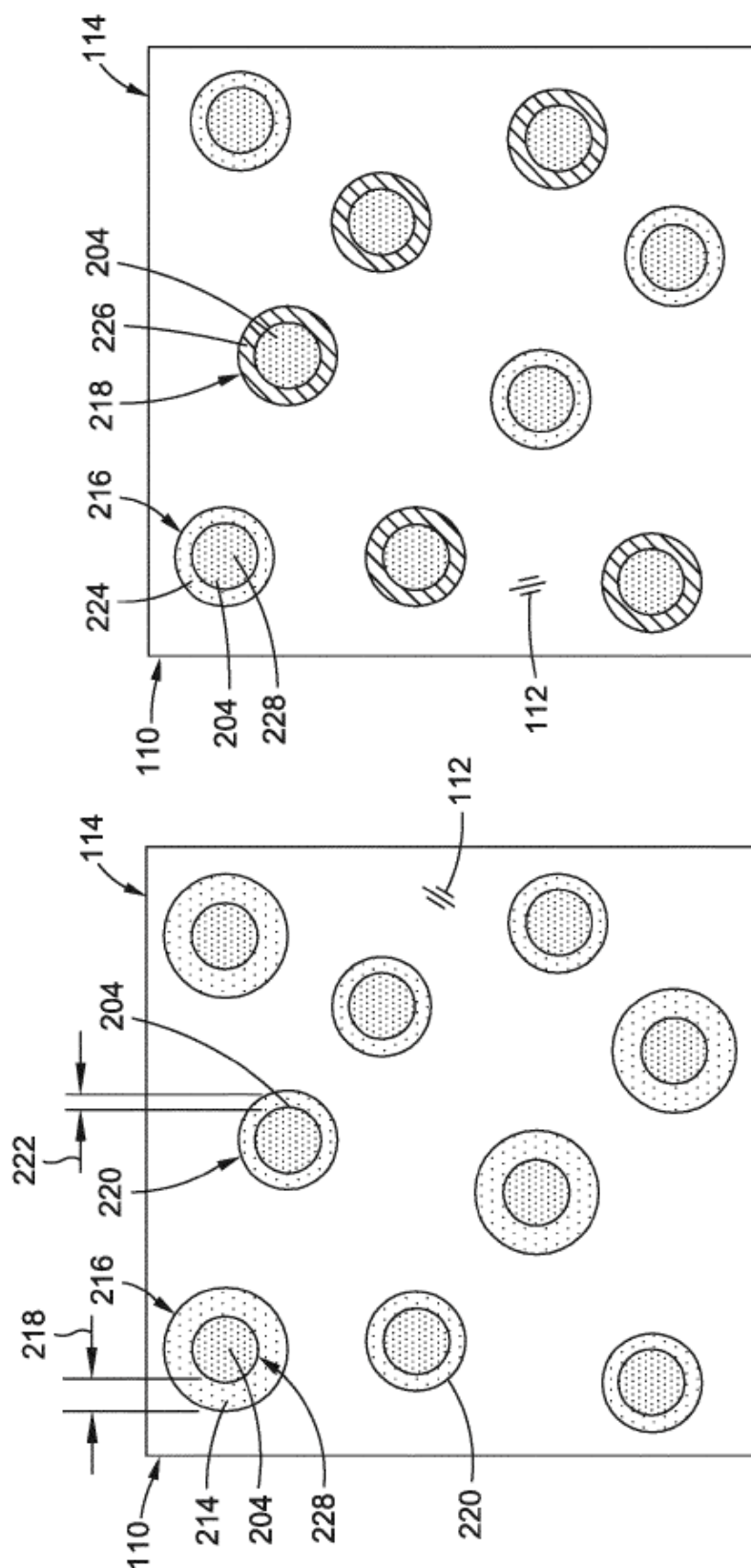
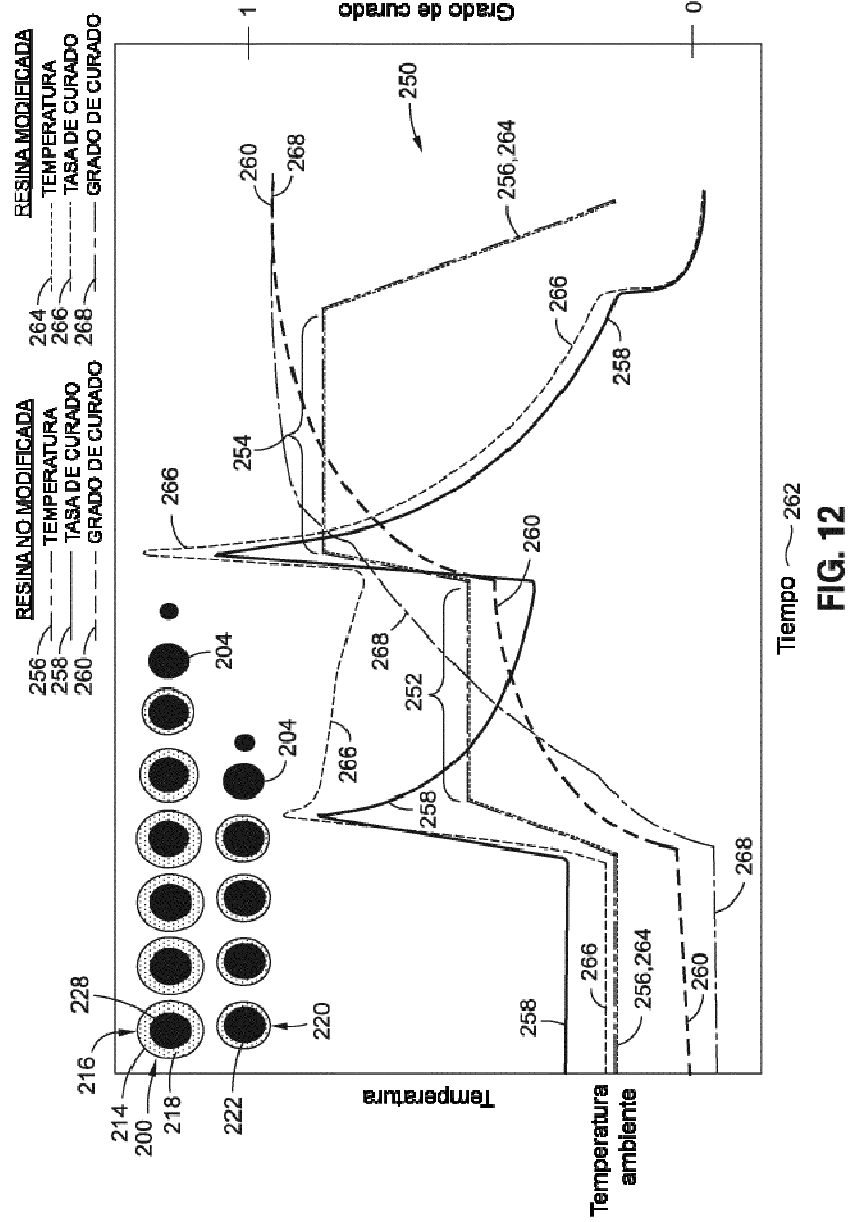
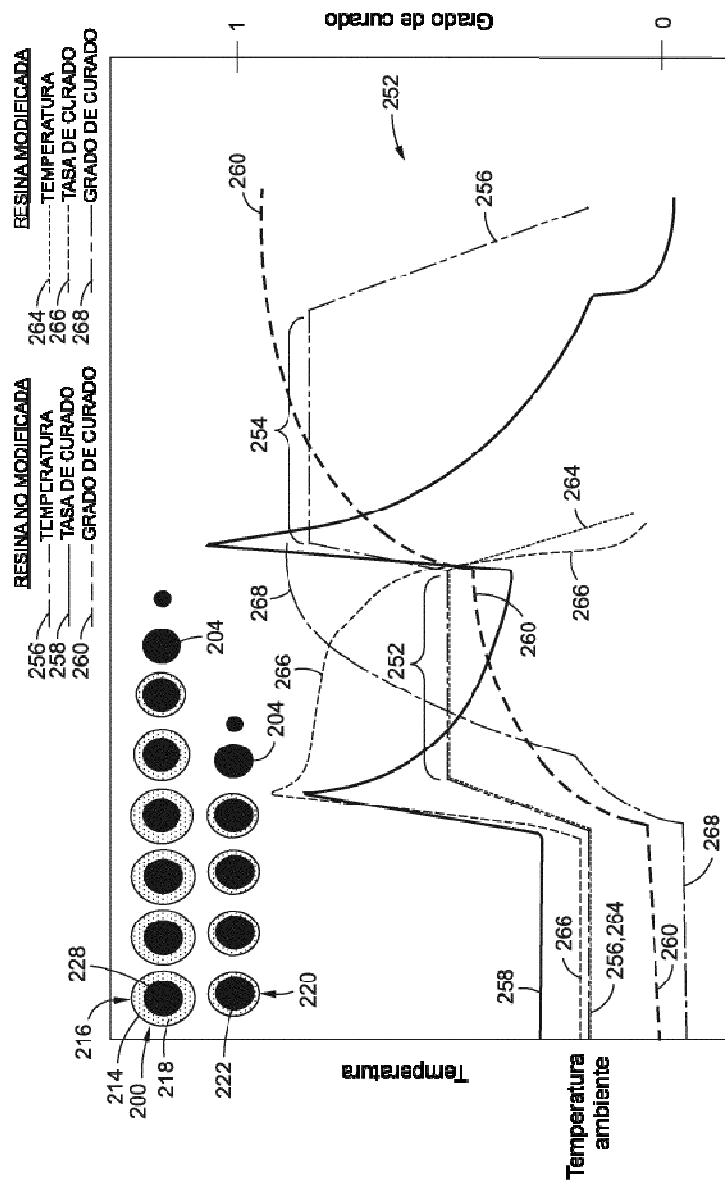


FIG. 9







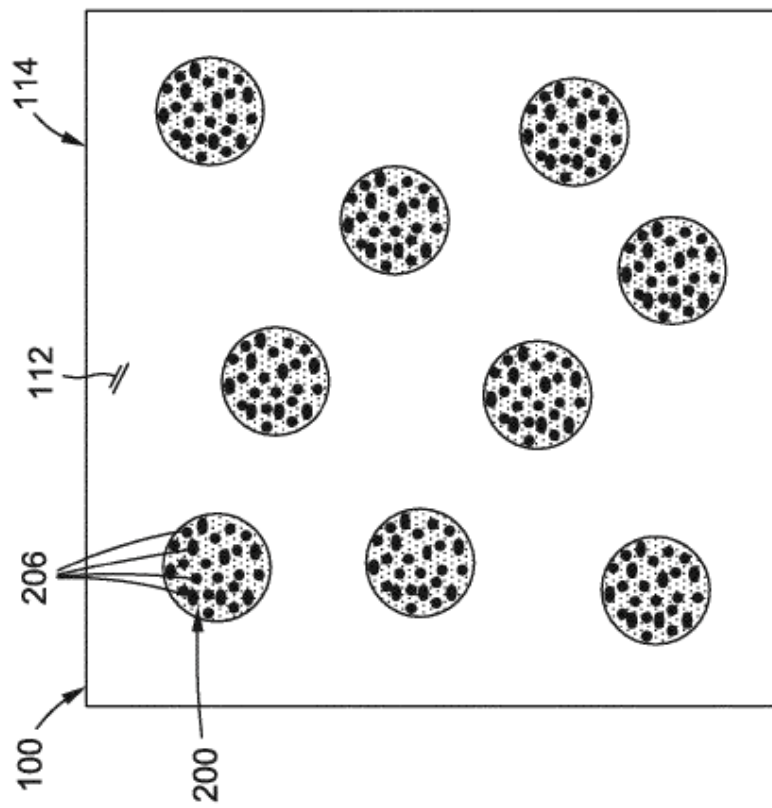


FIG. 14

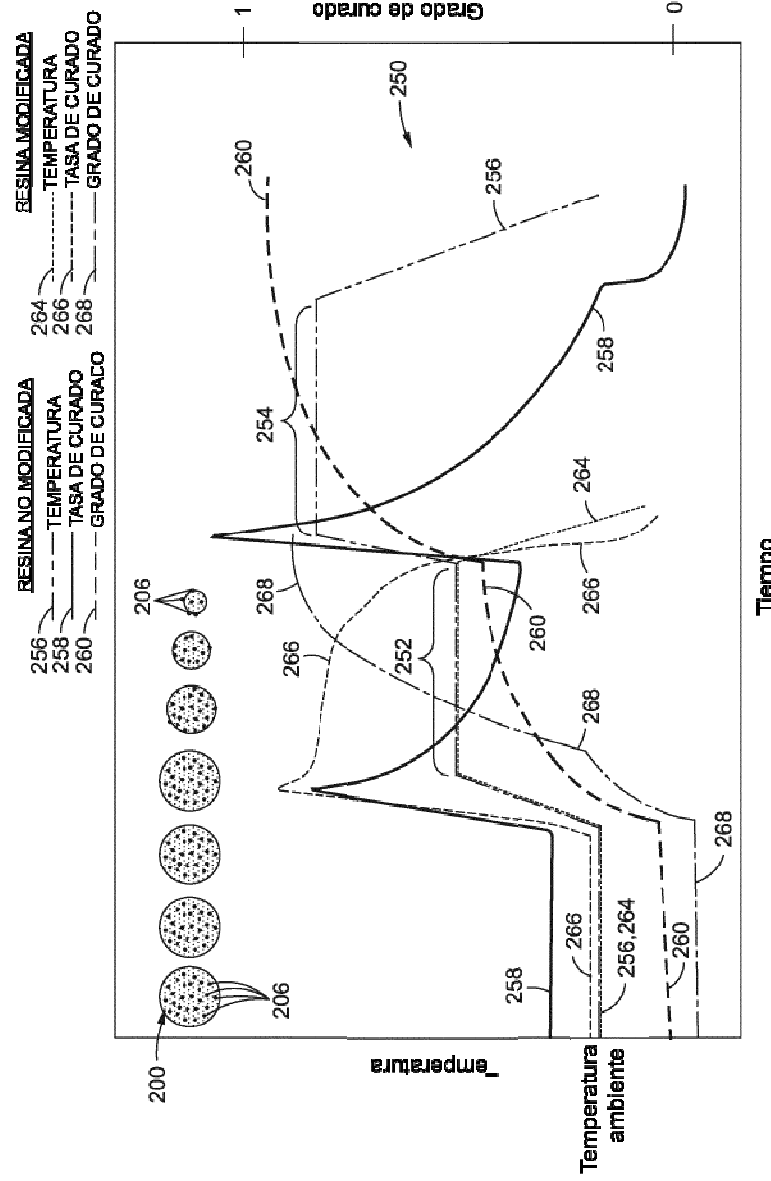


FIG. 15

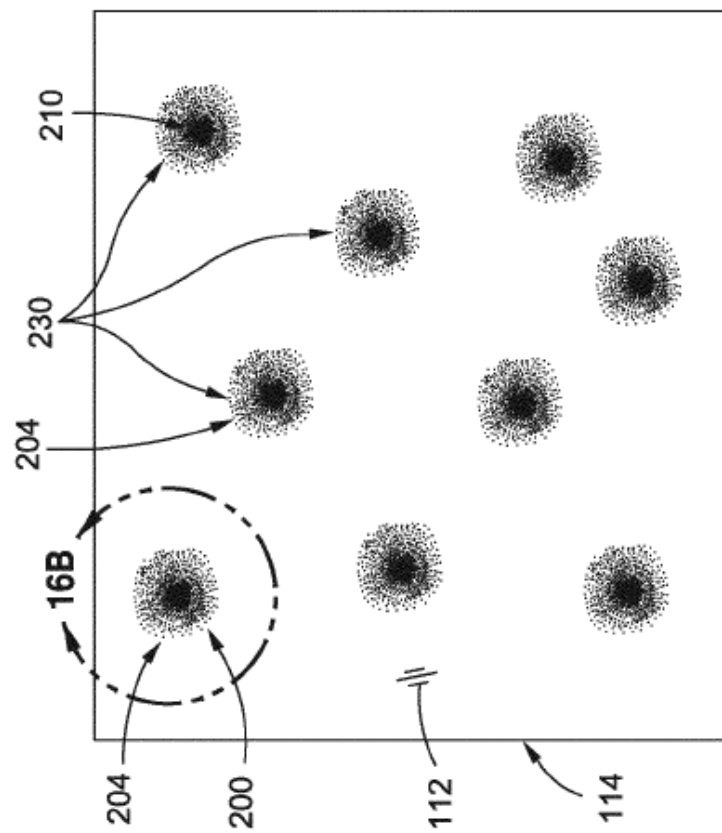


FIG. 16A

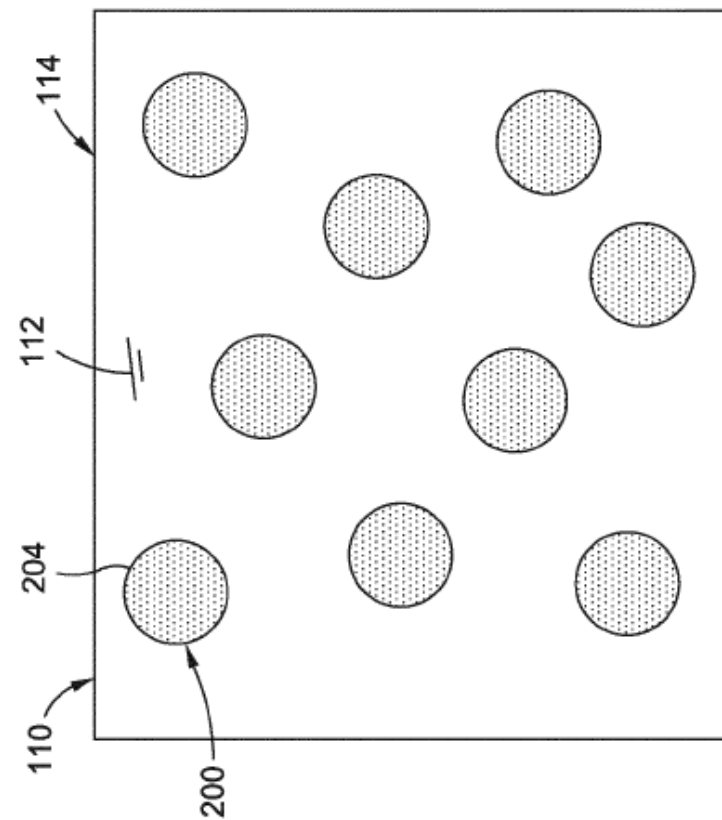


FIG. 16

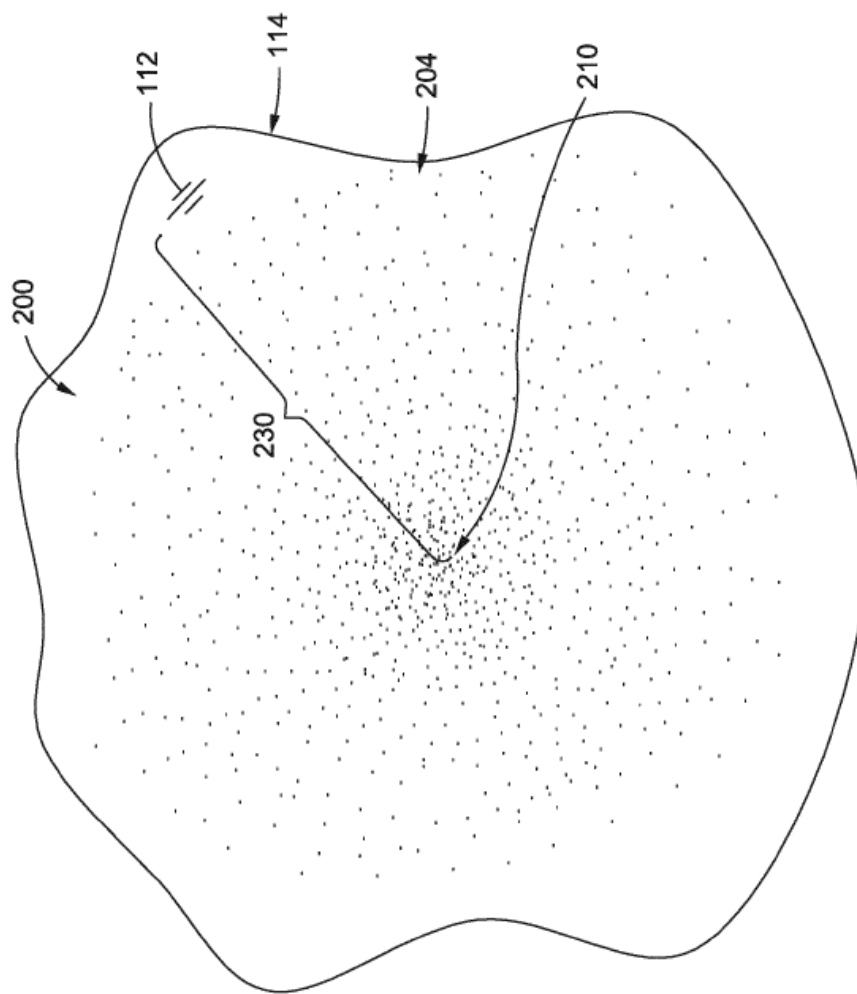


FIG. 16B

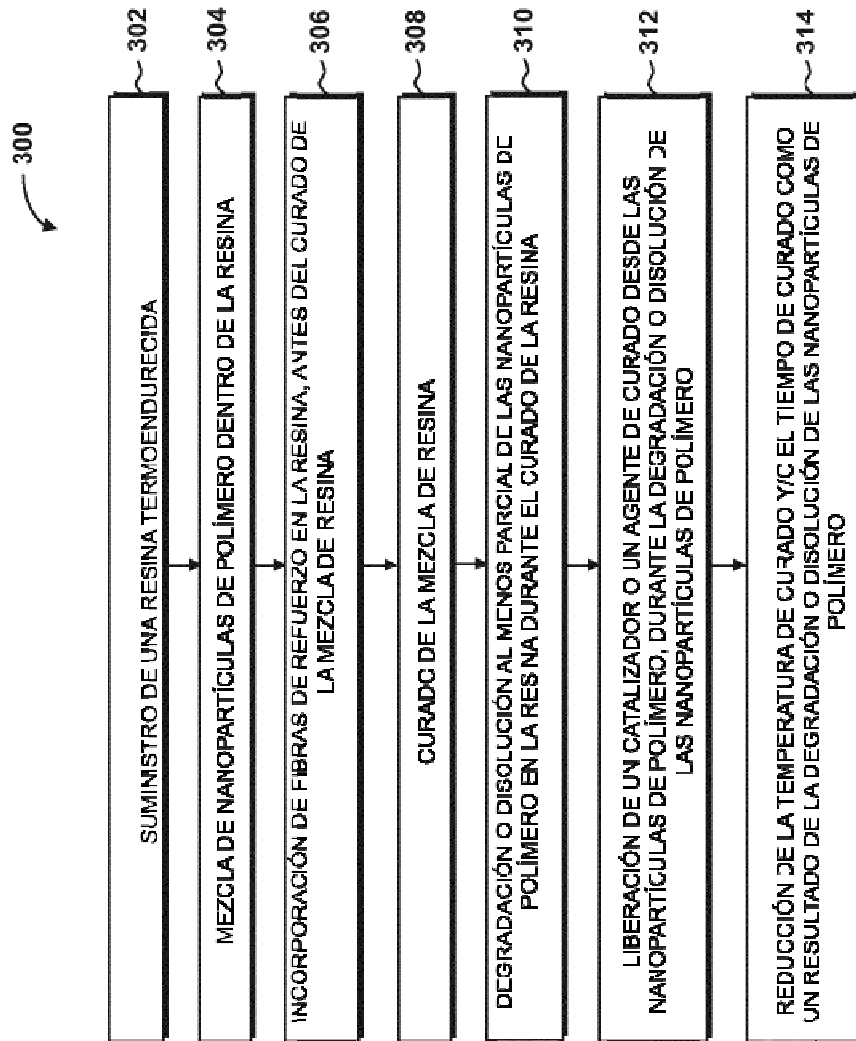


FIG. 17