

Tabla de Contenido.

Introducción.....	1
1. El Efecto de Memoria de Forma SME en polímeros.	3
1.1 Aplicaciones industriales.....	4
1.2. Aplicaciones biomédicas.....	5
1.3 Aplicaciones aeroespaciales.....	6
2. Conceptos importantes en el SME de polímeros.	7
2.1 Disposición de las cadenas en un polímero amorfo.....	7
2.2 Transición desde el estado vítreo al estado elástico.....	7
2.3 Elasticidad entrópica.....	8
3. Mecanismo Molecular de SME en polímeros.	8
3.1. Mecanismo Molecular de SME en polímeros por estímulo térmico.....	10
4. Protocolo para medición de recuperación de memoria de forma.	11
5. Clasificación de los SMPs.	12
5.1. SME de un camino.....	13
5.2. SME de dos caminos.	15
5.3. SME de triple forma.	15
5.4. Reforzamiento de SMP: SMP nano compósitos.	16
5.5. SMP nano compósitos electro sensibles.....	17
5.5.1. Percolación eléctrica.....	17
5.5.2. Piezoresistividad eléctrica: SMP electro sensible.	18
5.5.3. Nano-estructuras de Carbono: grafeno y nanotubo de carbono.	18
5.6. SMP nano compósitos sensibles a la Luz.....	23
6. Co-polímero etileno–buteno.	26
7. Objetivos.	30
7.1. Objetivo General.....	30
7.2. Objetivos Específicos.....	30
8. Metodología.....	31
8.1. Materiales.	31
8.2. Metodología.	31
8.2.1. Producción de TrGO.....	31
8.2.2. Nanocompósitos Engage/CNT y Engage/TrGO.	32

8.2.2.1. Preparación de los nanocompuestos.....	32
8.2.3. Caracterización.....	32
8.2.3.1. Conductividad eléctrica.....	32
8.2.3.2 Propiedades mecánicas (ensayo de tracción).....	32
8.2.4. Programación de memoria de forma (horno y simulador).....	33
8.2.5. Arduino.....	34
8.2.5.1. Medición en línea ensayo de piezoresistividad.....	35
9. Resultados y Discusiones.....	38
9.1. Propiedades Eléctricas.....	38
9.2. Propiedades Mecánicas.....	39
9.3. Recuperación en el tiempo por estímulo térmico, Engage/CNT.....	41
9.4. Efecto de la geometría sobre la recuperación en el tiempo por estímulo térmico, Engage/CNT.....	43
9.5. Recuperación en el tiempo por estímulo lumínico (Simulador Solar), Engage/CNT.....	45
9.6. Medición de la resistencia eléctrica durante el proceso de recuperación por estímulo lumínico (Simulador Solar), Engage/CNT 14%.....	48
9.7. Recuperación en el tiempo por estímulo térmico, Engage/TrGO.....	49
9.8. Comparación entre geometrías sobre la recuperación en el tiempo por estímulo térmico, Engage/TrGO.....	51
9.9. Recuperación en el tiempo por estímulo lumínico (Simulador Solar), Engage/TrGO.....	52
9.10. Comparación del TrGO y CNT sobre la matriz, durante la recuperación de Memoria de Forma bajo el estímulo térmico a 60°C y el estímulo lumínico en Simulador Solar.....	55
10. Conclusiones.....	57
Bibliografía.....	58
Anexos.....	63
Anexo A. Códigos programas Arduino y Processing.....	63
Anexo B. Curva de ensayo de tracción de los compósitos.....	64

Índice de Figuras.

Figura 1: Clasificación de algunos tipos de SMMs en el mundo de los materiales.[2]	2
Figura 2: Representación esquemática del SME de "un camino". Se pasa de la forma permanente a la forma temporal mediante el proceso de programación. Se recupera la forma permanente mediante un estímulo capaz de romper las barreras que inmoviliza al material.[8].....	3
Figura 3: Silla auto plegable en base a espuma de poliuretano, aún en fase de investigación.[13].....	5
Figura 4: Principio del SME del stent por estímulo térmico: antes de la aplicación (izquierda), después de reiniciar (derecha).[16]	6
Figura 5: Arquitectura general de los SMPs.[1]	10
Figura 6: Mecanismo SME para SMP termo sensibles.[20]	11
Figura 7: Esquema típico del SME térmico [21]	11
Figura 8: Ilustración esquemática del arreglo para los test de memoria de forma [21] ..	12
Figura 9: A la izquierda, proceso de recuperación de memoria de forma de la palabra "science" hechas de PDLLA/HA por estímulo térmico. A la derecha, el efecto de la recuperación y espesor de los compósitos de PDLLA/HA sobre su memoria de forma por estímulo térmico. [19].....	14
Figura 10: esquema SME según funcionalidad: para SME de un camino, una vez el estímulo se termina, la forma temporal se mantiene. Mientras que, para el SME de dos caminos, la forma temporal puede recuperarse a la forma permanente cuando el estímulo se acaba. [1]	15
Figura 11: Efecto de triple memoria de forma de dos caminos, reversible, bajo tensión constante durante test termo mecánico. Primero, forma original C, B y A durante enfriamiento y posterior calentamiento B y C. [25].....	16
Figura 12: Representación esquemática del concepto de percolación. De izquierda a derecho: enrejado sin sitios cargados, enrejado con al menos un 50% de sitios cargados y enrejado con un 67% de sitios cargados con un camino existente de un extremo a otro, o sea, percolado.....	18
Figura 13: Grafeno (superior) y las posibles estructuras del carbono a las que da origen (abajo): fullereno (izquierda), nanotubos de carbono (centro) y grafito y/o diamante (derecha) [30].....	19
Figura 14: A la izquierda, conductividad de los compósitos PU/SWCNT en función del contenido de SWCNT. A la derecha, el SME por activación eléctrica para el compósito a 4% de SWCNT, a 5°C y 30V [38].....	21
Figura 15: (a) Temperatura de la muestra en función del tiempo de aplicación del voltaje (b) Conductividad de los compósitos, a distintas dispersiones de CB, en función del tiempo de recuperación bajo un voltaje de 10V [39].....	22
Figura 16: Lado izquierdo: estado inicial deformado, temperatura ambiente. Lado derecho: estado recuperado. Morthane/CNT 1% en peso [40]	24
Figura 17: Izquierda: Recuperación vs temperatura en relación al SMP y SMP/CB. Derecha: ángulo de recuperación vs tiempo en relación al SMP y SMP/CB [43].....	24

Figura 18: (a) Comparación de la recuperación de forma antes (izquierda) y después (derecha) por estímulo lumínico IR. TPU puro no se recuperó mientras que el compuesto TPU/grafeno sulfonado 0.1% wt sí se contrajo. (b) Compósito TPU/grafeno sulfonado 1% wt se contrajo y levantó un peso de 21.6 [g] y 3.1 [cm] bajo estímulo lumínico IR. [44]	25
Figura 19: Clasificación polímeros CGCT.[46]	27
Figura 20: Izquierda, información del Mw para la co-polimerización del etileno octeno. Catalizador MAO, 450 psi etileno, 10 minutos de reacción. Derecha, Densidad del etileno octeno en función del contenido de octeno para co-polímeros elastoméricos. [47]	28
Figura 21: Recuperación para compósitos EOC/CB por estímulo térmico a 90°C en dependencia del tiempo de recuperación [39].	29
Figura 22: Comparación geometrías, primera, 20x90x1 mm ³ , segunda, 20x40x1 mm ³ .	33
Figura 23: Izquierda, disposición de la muestra en molde para preparar la forma temporal. Derecha, disposición de una muestra en el horno y bajo el Simulador Solar encendido.	34
Figura 24: Microprocesador Arduino UNO.	35
Figura 25: Esquema de circuito de medición Arduino.	36
Figura 26: Curvas experimentales de percolación eléctrica.	38
Figura 27: Curvas Esfuerzo vs Elongación para la matriz con relleno CNT y TrGO.	41
Figura 28: Recuperación de la memoria de forma vs el tiempo de recuperación para Engage TM a distintas concentraciones de CNT por estímulo térmico a 60°C.	42
Figura 29: Comparación de geometría en cuanto a recuperación vs tiempo de recuperación para las distintas concentraciones de CNT por estímulo térmico.	44
Figura 30: Recuperación de memoria de forma vs tiempo de recuperación para Engage TM a distintas concentraciones de CNT por estímulo lumínico.	46
Figura 31: Temperatura en función del tiempo de exposición al Simulador Solar para rellenos con CNT.	47
Figura 32: Resistencia Relativa en función de la recuperación para la muestra Engage/CNT 14% bajo estímulo lumínico IR en Simulador Solar.	48
Figura 33: Recuperación de la memoria de forma vs el tiempo de recuperación para Engage TM a distintas concentraciones de TrGO por estímulo térmico a 60°C.	50
Figura 34: Comparación de geometría en cuanto a recuperación vs tiempo de recuperación para las distintas concentraciones de TrGO por estímulo térmico.	51
Figura 35: Recuperación de memoria de forma vs tiempo de recuperación para Engage TM a distintas concentraciones de TrGO por estímulo lumínico.	53
Figura 36: Temperatura en función del tiempo de exposición al Simulador Solar para rellenos con TrGO.	54
Figura 37: Comparación de la recuperación de la memoria de forma en función del tiempo de recuperación para los dos rellenos, TrGO y CNT, bajo estímulo térmico en horno a 60°C.	55
Figura 38: Comparación de la recuperación de la memoria de forma en función del tiempo de recuperación para los dos rellenos, TrGO y CNT, bajo estímulo lumínico en el Simulador Solar.	55

Figura 39: Curvas Esfuerzo vs Elongación para la matriz pura y con relleno CNT y TrGO.64

Índice de Tablas.

Tabla 1: Clasificación SMP según estímulo.	13
Tabla 2: Propiedades experimentales mecánicas, térmicas y eléctricas de distintos materiales.....	20
Tabla 3 : Propiedades relevantes del Engage TM HM 7487.[48]	29
Tabla 4: Propiedades Mecánicas compósitos estudiados.....	39