

SÍNTESIS EN SEMICONTINUO DE POLIURETANO A PARTIR DE ACEITE
DE RICINO REFORZADO CON TiO_2 Y SU POSIBLE APLICACIÓN COMO
PLANTILLA DE CALZADO

DUWAL ALBEIRO BAUTISTA PEÑA
YHAIR RAMOS BEDOYA

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA

2015

SÍNTESIS EN SEMICONTINUO DE POLIURETANO A PARTIR DE ACEITE
DE RICINO REFORZADO CON TiO_2 Y SU POSIBLE APLICACIÓN COMO
PLANTILLA DE CALZADO

DUWAL ALBEIRO BAUTISTA PEÑA
YHAIR RAMOS BEDOYA

Trabajo de grado para optar al título de
Ingeniero químico

Director:
Gustavo Emilio Ramírez Caballero
Ingeniero Químico, PhD

Codirectora:
Belkys Polo Cambronell
Ingeniera Química

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA QUIMICA
BUCARAMANGA

2015

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos las herramientas y la formación de carácter crítico en base a la academia enfocando siempre en el bienestar de las personas y la construcción nuestros proyectos de vida.

Al Dr. Gustavo Emilio Ramírez Caballero por impulsarnos y motivarnos en la investigación de los materiales poliméricos, mostrándonos una puerta en la ingeniería química e incentivando el desarrollo de este sector al relacionar la academia y la industria.

A la Ing. Belkys Polo por su apoyo y motivación constante, por su constancia y perseverancia en cada etapa a lo largo del proyecto, por mostrarnos que la investigación requiere de personas integra capaces de buscar soluciones como lo demanda un ingeniero y su pasión por la investigación.

A las Ingenieras Carolina Ardila y Diana Rojas así como al Ingeniero Camilo Calderón por los consejos y asesorías brindadas.

Al Ingeniero Reynaldo por sus consejos y por mostrarnos que la academia y la industria deben de estar unificada.

Al Grupo de Investigación en Polímeros G.I.P por la calidez con la cual nos recibieron y por su ambiente de trabajo que muestra la unidad no solo como grupo de trabajo sino como el de una familia.

Al Grupo de Investigación en Catálisis por brindarnos la ayuda, los recursos y el conocimiento obtenido de sus investigaciones y la cálida acogida en su grupo de trabajo.

Dedicado

A mi familia por todos sus esfuerzos para brindarme la posibilidad de crecer como persona y profesionalmente, por enseñarme que cada día trae consigo la posibilidad de hacer algo importante que contribuya a mejorar la vida de los demás.

Al Dr. Humberto Escalante y la Dra. Liliana del pilar Castro Molano por Mostrarme mis capacidades profesionales y personales.

A mi compañero de proyecto Yhair por su ayuda y colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A la Ingeniera Belkys por su apoyo incondicional como investigadora y como persona.

A mis compañeros de estudio por su contribución en mi formación como ser humano y hacer de mi paso por la universidad un Recuerdo muy grato.

A la universidad Industrial de Santander por abrirme las puertas para la formación de mi proyecto de vida.

Duval Albeiro Bautista Peña.

DEDICATORIA

Inicialmente deseo dedicarle este trabajo a todas las personas que siempre creyeron en mi capacidad, capacidad que tenemos todos, es grato saber la fuerza y determinación que poseemos cuando queremos alcanzar algo.

A Dios por siempre darme esos sentimientos de alegría, tranquilidad y serenidad en cada momento de esta etapa de vida que esta próxima a culminar espero ser digno por tan valioso esfuerzo.

A mis padres, Sonia Bedoya y Juan Ramos, no hay un día en el que no le agradezca a dios el haberme colocado entre ustedes, la fortuna más grande es tenerlos conmigo y el tesoro más valioso son todos y cada uno de los valores que me inculcaron.

A la ingeniera Belkys, gracias por su dedicación y esfuerzo, ante tantos grupos, supo cómo guiarnos en tan arduo trabajo deseo expresar mi gratitud hacia usted deseándole éxito y el mayor de los augurios en su trayectoria profesional.

Finalmente al Dr. Gustavo Emilio Ramírez Caballero y al Grupo de Investigación de Polímeros por abrirnos las puertas y darnos la oportunidad de profundizar nuestros conocimientos.

“...se requiere de muchos estudios para ser profesional, pero se requiere de toda una vida para aprender a ser persona”

Yhair Ramos Bedoya

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION.....	13
1. MATERIALES Y REACTIVOS	21
2. METODOLOGÍA	22
2.1 PROTOCOLO DE SÍNTESIS	24
3. REQUERIMIENTOS.....	26
3.1 REQUERIMIENTOS FISICOQUÍMICOS.....	26
3.1.1 Ensayo de absorción de agua:.....	26
3.1.2 Ensayo de hinchamiento y ataque químico:.....	26
3.2 REQUERIMIENTOS TÉRMICOS.....	26
3.2.1 Análisis Termo-gravimétrico (TGA):	26
3.2.2 Calorimetría Diferencial de barrido (DSC):.....	26
3.3 REQUERIMIENTOS FÍSICOS-MECANICÁNICOS.....	27
3.3.1 Análisis de Dureza:	27
3.3.2 Análisis dinámico - mecánico (DMA):.....	27
3.4 EVALUACIÓN DE DESINFECCIÓN	28
3.4.1 Cultivo de E.coli ATCC 11229.....	29
3.4.2 Pruebas de desinfección fotocatalítica.....	29
3.5 Microscopía electrónica de barrido (SEM)	30
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	31
4.1 REQUERIMIENTOS FISICOQUÍMICO.....	31
4.1.1 Prueba absorción en medio Húmedo:	31
4.1.2 Prueba de hinchamiento y ataque químico:	33
4.2 REQUERIMIENTOS TÉRMICOS.....	34
4.2.1 Estabilidad térmica del material (TGA):.....	34
4.2.2 Calorimetría Diferencial de barrido (DSC):.....	35

4.3 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS.....	37
4.3.2 Prueba de flexión:	38
4.3.3 Prueba control de fuerza.	41
4.3.4 Prueba de compresión:	42
4.4 EVALUACIÓN DE DESINFECCIÓN	43
4.5 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO	44
4.6 RADIOMETRO.....	44
5. CONCLUSIONES	46
6. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIA BIBLIOGRAFICA.....	48
BIBLIOGRAFIA.....	56
ANEXO.....	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Características de los polímeros utilizados en la producción de plantillas	17
Tabla 2. Diseño de experimentos para determinar la dureza	23
Tabla 3. Condiciones de síntesis del poliuretano.....	24
Tabla 4. Características de materiales usados en la manufactura de plantillas de calzado	28
Tabla 5. Condiciones diseño de experimentos de desinfección	29
Tabla 6. Muestras de estudio.....	31
Tabla 7. Porcentaje de hinchamiento de las muestras de estudio y algunos materiales de uso común en la fabricación de plantillas	32
Tabla 8. Dureza de las muestras de estudio y de algunos materiales usados para la fabricación de plantillas de calzado.....	38
Tabla 9. Prueba absorción de agua	60
Tabla 10. Características del material requeridos para el ataque químico	61
Tabla 11. Replica ataque químico.....	62
Tabla 12. Dureza shore	63
Tabla 13. Pruebas preliminares de desinfección	64
Tabla 14. Réplica de la prueba preliminar de desinfección.....	65
Tabla 15. Prueba de desinfección previa a la efectiva.....	65
Tabla 16. Resultados prueba de desinfección efectiva.....	66
Tabla 17. Desinfección efectiva a 7 horas	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Reacción de producción de poliuretanos	18
Figura 2. Estructura del ácido ricinoleico	18
Figura 3. Metil-difenil isocianato	19
Figura 4. Metodología para la síntesis en continuo de un elastómero de poliuretano y su evaluación como plantilla. Autores	22
Figura 5. Diagrama de Pareto de los efectos. Autores	23
Figura 6. Montaje para la síntesis de poliuretano. Autores	25
Figura 7. Porcentaje de hinchamiento en agua	32
Figura 8. Hinchamiento y ataque químico.....	33
Figura 9. Análisis Termogravimétrico.....	35
Figura 10. Temperatura de transición vítrea	36
Figura 11. Dureza shore A.....	37
Figura 12. Primer ciclo del tratamiento de flexión	39
Figura 13. Segundo ciclo del tratamiento de flexión	39
Figura 14. Tercer ciclo del tratamiento de flexión	40
Figura 15. Módulos de almacenamiento y pérdida en la muestra 1	40
Figura 16. Carga y rigidez de las muestras de estudio	41
Figura 17. Prueba de compresión.....	42
Figura 18. Análisis de desinfección.....	43
Figura 19 Microscopia electrónica de barrido	44
Figura 20 Absorción de luz del poliuretano sintetizado.....	45
Figura 21 Esquema de una caja Petri y sus zonas o franjas	64
Figura 22 sensor totalmente descubierto.....	68
Figura 23 sensor totalmente cubierto.....	68
Figura 24. Sensor con parte lateral cubierta	69
Figura 25. Poliuretano base.....	69
Figura 26. Poliuretano con 0.1 g de TiO ₂	70
Figura 27. Poliuretano con 0.2 g de TiO ₂	70
Figura 28. Poliuretano con 0.3 g de TiO ₂	71
Figura 29 Poliuretano con 0,5 g de TiO ₂	71

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Absorción de agua.....	60
Anexo B. Hinchamiento y ataque químico	61
Anexo C. Prueba de dureza.....	63
Anexo D. Pruebas preliminares de desinfección.....	64
Anexo E. Pruebas en la cámara suntest cps+	68

RESUMEN

TITULO: SÍNTESIS EN SEMICONTINUO DE POLIURETANO A PARTIR DE ACEITE DE RICINO REFORZADO CON TiO_2 Y SU POSIBLE APLICACIÓN COMO PLANTILLA DE CALZADO

AUTORES:

DUWAL ALBEIRO BAUTISTA PEÑA

YAHIR RAMOS BEDOYA

PALABRAS CLAVE: POLIURETANO, DIOXIDO DE TITANIO, ACEITE DE HIGURILLA, EXTRUSORA.

DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo se estudió la síntesis en un proceso semicontinuo de un poliuretano base obtenido a partir de aceite de higuera (aceite vegetal obtenido de la planta *Ricinus Conumis*), MDI (metil-difenil-Isocianato) comercial, reforzado con TiO_2 anatasa y su evaluación como plantillas de calzado. El proyecto se estructura en tres partes fundamentales: 1) Ajuste de variables en la síntesis del material, consiste en un premezclado de los reactivos en un agitador mecánico, donde posteriormente esta mezcla ingresa a la extrusora (reactor) para llevar a cabo la reacción. 2) Caracterización, para un mayor confort y comodidad en su uso las plantillas deben cumplir con ciertos requerimientos como porcentajes de absorción de agua, dureza, cambios en las temperaturas ambientales y crecimientos microbianos, para estudiar ataque químico, dureza; para determinar el comportamiento térmico se realizarán análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC) y para conocer el comportamiento mecánico se realizará un análisis dinámico-mecánico (DMA). 3) Evaluación como plantilla de calzado, consiste en determinar si el material obtenido cumple con las características de los requerimientos al comparar los valores reportados en la literatura correspondiente a materiales usados comúnmente en plantillas para calzado con los obtenidos en las caracterizaciones desarrolladas en el trabajo y determinar si el material sintetizado se puede utilizar para esta aplicación.

*Proyecto de grado. Modalidad investigación

** Facultad de ingenierías fisicoquímicas. Escuela de ingeniería química. Director Gustavo Ramírez caballero. Codirectora Belkys Polo Cambronell.

ABSTRAC

TITLE: SEMI-SYNTHESIS'S POLYURETHANE FROM CASTOR OIL TIO₂ REINFORCED AND ITS POSSIBLE APPLICATION AS SHOE INSOLE

AUTHORS:

DUWAL ALBEIRO BAUTISTA PEÑA

YAHIR RAMOS BEDOYA

KEYWORDS: Polyurethane, titanium dioxide, castor oil, Extruder.

DESCRIPTION:

In this paper the synthesis was studied in a semi-continuous process of a commercial base polyurethane obtained from castor oil (vegetable oil obtained from the plant called *Ricinus communis*), MDI (methyl diphenyl isocyanate), reinforced with anatase TiO₂ and their evaluation as shoe insoles. The project is structured into three main parts: 1) Adjustment of variables in the synthesis of the material, consists of premixing the reagents in a mechanical stirrer, whereafter this mixture enters the extruder (reactor) to carry out the reaction. 2) Characterization, for comfort and convenience in using the templates must meet certain requirements as percentages of water absorption, hardness, changes in environmental temperature and microbial growth, to study these properties in synthetic materials tests are conducted water absorption, chemical attack, hardness; to determine the thermal behavior thermogravimetric analysis (TGA) and differential scanning calorimetry (DSC) is performed and to determine the mechanical behavior dynamic mechanical analysis (DMA) is performed. 3) Evaluation and shoe insole, is whether the material obtained meets the characteristics of the requirements by comparing corresponding values reported in the literature to materials commonly used in shoe insoles with those obtained in the characterization developed at work and determining whether the synthesized material can be used for this application.

*Degree Project. Research mode.

** Physical-Chemical Engineering Faculty. Chemical Engineering School. Director Gustavo Ramírez caballero. Co-directora Belkys Polo Cambrone

INTRODUCCIÓN

Las plantillas son artículos de uso común en el calzado, su función es dar confort y comodidad en los pies al disminuir los impactos que se generan al caminar, esto evita inadecuadas posturas que conllevan a lesiones en las articulaciones [1,2].

Los materiales usados para la elaboración de plantillas pueden ser materias primas orgánicas como cuero, corcho o goma debido a la flexibilidad, elasticidad y capacidad de aislamiento de calor que presentan éstos. Algunas desventajas de los materiales usados en la elaboración de plantillas son el fácil desgaste y baja estabilidad de forma [3,4].

Convencionalmente se producen por troquelado en equipos llamados prensas donde se someten las láminas poliméricas a transformaciones físicas, para obtener la geometría que se desea [5,6]. Es común que se realicen tratamientos a los materiales antes del formado de las láminas a troquelar, esto con el objetivo de agregar características y propiedades que se desean según la aplicación [7]. Estos procesos funcionan de forma discontinua además de la implementación de otros equipos encargados de adicionar características, como resistencia a estímulos externos que puedan afectar la integridad del material [8]. Por lo anterior se hace necesario implementar procesos que estandaricen la producción de plantillas de forma semicontinua sin la necesidad de agregar más procesos a la manufactura de las láminas poliméricas usadas en la fabricación de plantillas de calzado para lograr los cambios físico-mecánicos que se desean. Los diferentes estímulos a los que son expuestas las plantillas como variación en la temperatura ambiente, cambios en la humedad, exposición a diferentes sustancias, tiempos y prolongación de uso, influyen directamente en la comodidad y correcto desempeño de la plantilla, por esto es necesario desarrollar un material obtenido a partir de fuentes renovables y poco contaminantes que permitan estandarizar el comportamiento químico y mecánico de los materiales utilizados en la producción de plantillas.

Algunos estudios realizados acerca de la dureza de plantillas sobre el equilibrio y estabilidad en las personas al caminar [9], modelado la distribución de carga y deformación en plantillas [10], influencia de medios húmedos en propiedades

morfológicas de las plantillas [11], efecto de la temperatura sobre materiales polimérico al someterlos a esfuerzos [12], influencia de caminar y su relación con la temperatura al interior del calzado [13], muestran que las propiedades de los polímeros utilizados en la producción de plantillas varían de acuerdo al tipo de material usado, medio de exposición y esfuerzos mecánicos razón que ha llevado a combinar materiales orgánicos y sintéticos para la síntesis de plantillas. En la industria del calzado se utilizan diferentes polímeros dependiendo de sus propiedades, algunos de estos son los materiales termoformables como las espumas de polietileno, los etilvenilacetato y hule son de uso común en la industria del calzado para la producción de plantillas porque presentan propiedades químicas y mecánicas adecuadas para esta aplicación [14, 15].

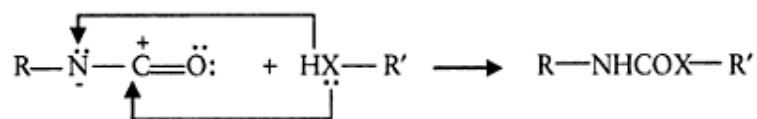
Tabla 1. Características de los polímeros utilizados en la producción de plantillas [14, 15].

	Polietileno	EVA	Hule
Porcentaje de absorción de humedad	0,5	1,7	No se tiene información
Dureza (shore A)	28	39	6
Esfuerzo de compresión (kpa)	98	275	No se tiene información
Porcentaje de deformación a 50 (kpa)	50	15	70

Otra alternativa de materiales aptos para esta aplicación debido a las diferentes propiedades físicas, químicas y mecánicas son los poliuretanos debido a su amplio rango de aplicaciones a nivel industrial, numerosas investigaciones se han desarrollado entorno al poliuretano aplicado a industrias como el calzado, automotriz, recubrimientos, pinturas y barnices [16, 17, 18].

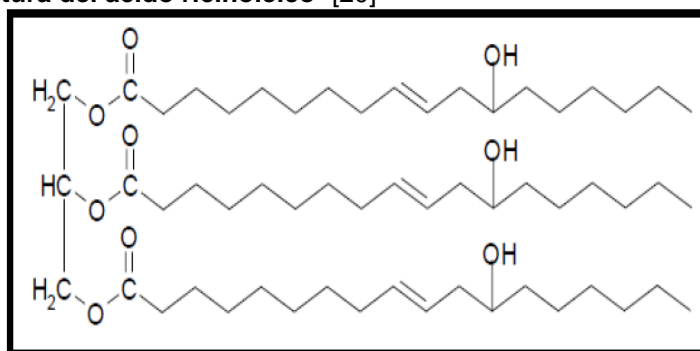
En el caso de los poliuretanos termoplásticos son polímeros sintéticos que se obtienen por reacción de poli condensación entre un polioliol y la resonancia que presenta el grupo disocianato debido a la diferencia en la densidad de electrones entre el átomo de oxígeno y el átomo de carbono [19].

Figura 1. Reacción de producción de poliuretanos [19].



El uso de algunos aceites naturales como el aceite de ricino en la síntesis de poliuretanos se debe a la disposición de tres grupos hidroxilos funcionales activos presentes en el ácido ricinoleico como se presenta en la figura 2 [20, 21].

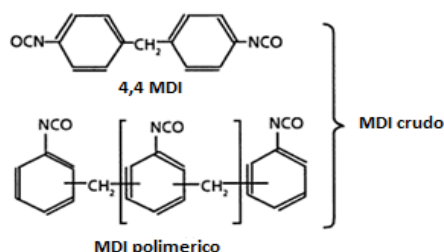
Figura 2. Estructura del ácido ricinoleico [20]



Se han desarrollado investigaciones en el grupo de polímeros de la universidad industrial de Santander para el aprovechamiento del aceite de ricino en la síntesis de diferentes materiales con diferentes propiedades fisicoquímicas y fisicomecánicas modificando su índice hidroxilo mediante diferentes técnicas como esterificación con pentaeritritol, almidón de yuca y glicerina [22, 23].

La disponibilidad de grupos hidroxilos, hace que el ácido ricinoleico tenga alta reactividad en presencia de grupos isocianato como el metil difenil isocianato (MDI) crudo que está compuesto por una mezcla en una proporción aproximada del 48% de MDI polimérico y 50% de 4,4 MDI como se observa en la figura 3, este isocianato aromático es el encargado de aportar segmentos rígidos al poliuretano [24, 25]

Figura 3. Metil-difenil isocianato [24].



Otra alternativa para variar las propiedades mecánicas del poliuretano es el uso de materiales como agentes de refuerzo dentro de la matriz polimérica., los materiales usados como refuerzos pueden ser en forma de fibras o partículas que aportan diferentes propiedades según sea el caso estudios, algunas investigaciones realizadas sobre refuerzos en diferentes aplicaciones como: refuerzo mecánico con SiO₂ en aislamientos térmicos [26], propiedades eléctricas en materiales compuestos [27], Efecto de la alúmina sobre trietilenglicol butílico, como polímero compuesto para baterías [28]., han determinado una mejoría de estas propiedades y su rendimiento. Los refuerzos en formas de partículas que por lo general son óxidos metálicos serán más efectivos en cuanto menor tamaño de partícula presente (10-250 nm) [29, 30] En el caso del TiO₂ en fase anatasa presenta un tamaño de partícula entre 50 y 100 nm [31], es un relleno particulado y presenta actividad fotocatalítica capaz de llegar a degradar la actividad microbiana asociada a la generación de malos olores presente en las plantillas de calzado.

Estudios de las propiedades mecánicas de materiales cerámicos y poliméricos reforzados con TiO₂, presentando variaciones en propiedades como resistencia a la flexión y dureza [32], uso del TiO₂ como refuerzo en el poliestireno modificando propiedades mecánicas como el módulo de Young, resistencia a la tracción, alargamiento a la rotura, y resistencia a la flexión [33], además del uso de TiO₂ para atribuir propiedades desinfectantes a los materiales sintetizados debido a la capacidad para absorber la radiación electromagnética que se encuentra en la región ultravioleta y generar su actividad fotocatalítica permitiendo degradar materia orgánica. [34, 35].

En el presente trabajo de grado se busca emplear la extrusora de un husillo en la síntesis de forma semicontinua de un poliuretano reforzado con TiO₂ obtenido

a partir de aceite de higuera para su evaluación como plantilla de calzado en base a requerimientos mecánicos y de ambientes rutinarios, esto como una alternativa en la ruta de síntesis o elaboración de las plantillas de calzado con el objetivo de impulsar e incentivar este sector de la economía con la innovación de materiales.

1. MATERIALES Y REACTIVOS

En el desarrollo de este proyecto de investigación se utilizaron los siguientes materiales y reactivos que se usaron en la etapa de síntesis de las muestras de estudio y en la etapa de evaluación de desinfección.

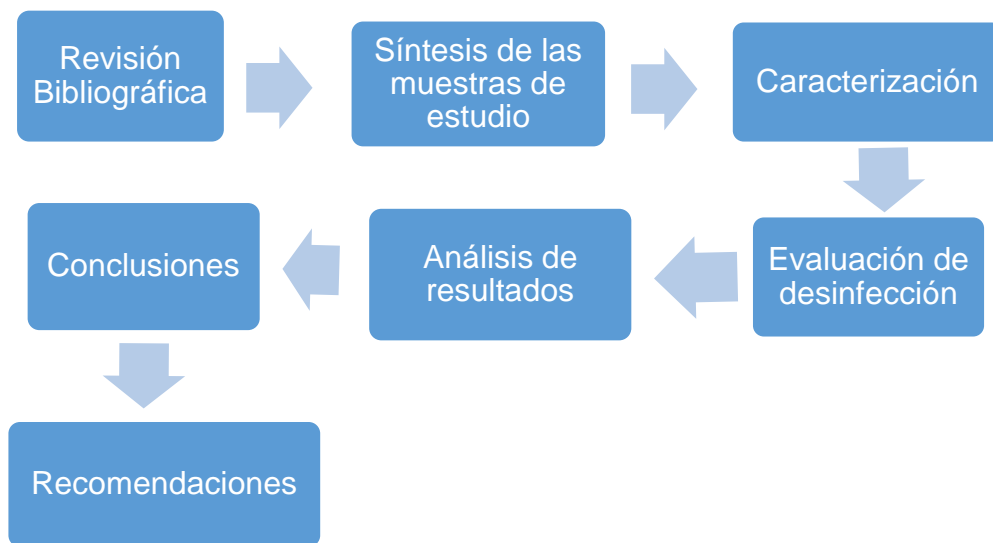
En la síntesis de los materiales se utilizaron como reactivos: aceite de ricino, (proveedor laboratorios león, Bucaramanga). Metil difenil isocianato MDI (proveedor husman). Como agente de refuerzo se empleó TIO_2 comercial (Degussa P-25).

En la evaluación de desinfección se empleó: Como cepa de estudio *E.coli* ATCC 11229, (CRYOBANK™). Para el cultivo de *E.coli* se implementó como medio nutritivo Luria Bertani (LB): (LB: 1g de triptona (oxid); 0,5g de extracto de levadura (Oxoid) y 1g de NaCl (Carlo Erba). En la siembra y conteo de las unidades formadoras de colonia sobrevivientes (UFC) se empleó Agar Recuento, (AR; Merck). Todas las pruebas correspondientes a esta evaluación se realizaron con agua destilada.

2. METODOLOGÍA

La metodología empleada en el para el desarrollo del presente trabajo de investigación fue la siguiente:

Figura 4. Metodología para la síntesis en continuo de un elastómero de poliuretano y su evaluación como plantilla. Autores



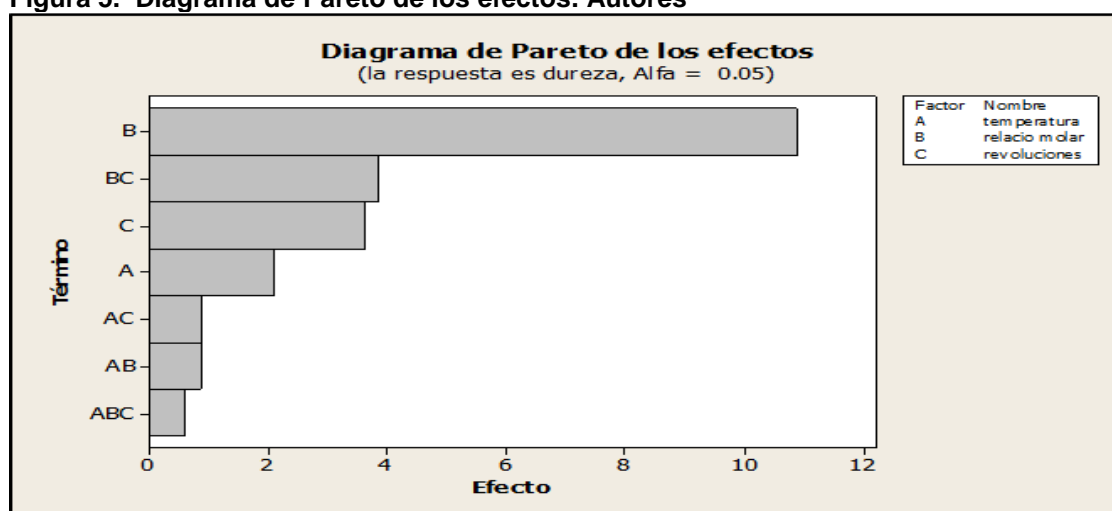
Después de realizar la revisión del estado del arte, se procedió a realizar la síntesis de las muestras en la extrusora de un husillo una vez se fijaron las condiciones de operación de este equipo, las cuales se determinaron después de realizar algunas pruebas preliminares. Estas condiciones de operación fueron la temperatura y la velocidad de giro del tornillo en la extrusora resultado del diseño de experimento 2^k (tres factores con dos niveles por cada factor), que se planteó con el fin de determinar el efecto de las variables seleccionadas en la dureza del material y fijar las condiciones de síntesis de las muestras de estudio. Estos factores fueron: A que representa la temperatura (nivel bajo: 50, nivel alto: 60), B represento la relación molar NCO/OH (nivel bajo: 1.1/1, nivel alto: 1/1,1) y C la velocidad de giro del husillo de la extrusora (nivel bajo: 40, nivel alto: 50).

Tabla 2. Diseño de experimentos para determinar la dureza. Autores

		Factores			
Nivel		A	B	C	Nombre
		50	1.1/1	40	P2
		50	1.1/1	50	P1
		50	1/1.1	40	P8
		50	1/1.1	50	P7
		60	1.1/1	40	P4
		60	1.1/1	50	P3
		60	1/1.1	40	P6
		60	1/1.1	50	P5

Este diseño de experimentos determinó las condiciones de operación en la síntesis de las muestras de estudio, según los resultados obtenidos del siguiente diagrama:

Figura 5. Diagrama de Pareto de los efectos. Autores



En donde se observa que la relación molar presenta una mayor incidencia sobre la dureza de las muestras de estudio. Con estos resultados obtenidos se eligen las siguientes condiciones de síntesis:

Tabla 3. Condiciones de síntesis del poliuretano. Autores

Variable	Valor			unidades
Temperatura	50			°C
Relación molar	1:1	1.1:1	1:1.1	Moles NCO/Moles OH
Revoluciones de la extrusora	50			RPM

2.1 PROTOCOLO DE SÍNTESIS

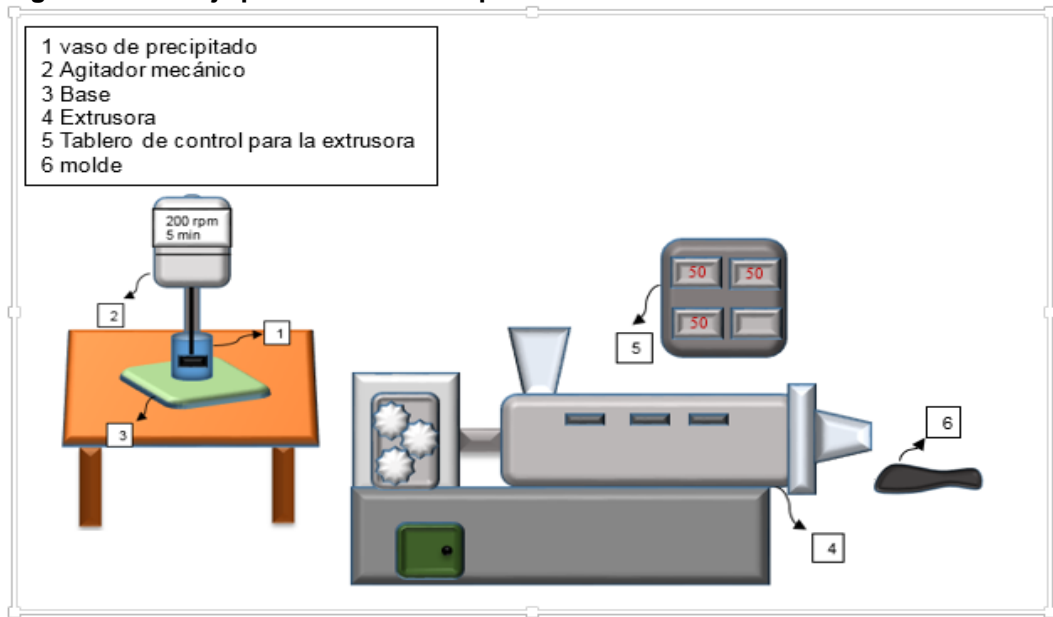
Determinadas las condiciones de síntesis mencionadas anteriormente se llevó a cabo el siguiente protocolo:

- 1) pre-mezclado: En un agitador mecánico se mezclan el aceite de ricino y el TiO₂ a 200 rpm y temperatura ambiente durante 5 minutos. Posteriormente se agrega el isocianato MDI y se realiza nuevamente la agitación a las mismas condiciones formando así un pre-polímero con una concentración de 5 mg TiO₂/ml mezcla.
- 2) Reacción: Se vierte el pre-polímero en la tolva de la extrusora que regula el paso del prepolímero hacia la cámara interior del equipo donde se encuentra el husillo a una velocidad constante de 50 rpm, dando el tiempo suficiente para la transferencia de energía en forma de calor suministrada por las resistencias eléctricas ajustadas a una temperatura de 50°C que se encuentran en contacto con las paredes de la cámara. Además de ayudar a la circulación del polímero a través del equipo.
- 3) Curado: A la salida de la boquilla de la extrusora el polímero se recibe en un molde metálico impregnado con desmoldante de silicona debido

a que este no presentará reacción con el material que se sintetiza y finalmente se lleva el molde con el polímero en su interior a una superficie plana a temperatura ambiente durante 3 horas.

El montaje utilizado en el presente proyecto de investigación es el que se muestra en la figura 6

Figura 6. Montaje para la síntesis de poliuretano. Autores



Una vez finalizada la etapa de síntesis, las muestras fueron caracterizadas en base a los siguientes requerimientos:

3. REQUERIMIENTOS

3.1 REQUERIMIENTOS FISICOQUÍMICOS

3.1.1 Ensayo de absorción de agua: Debido al cambio de aspecto y dimensiones que puede presentar una plantilla al estar expuesta a medios húmedos, se aplicó la norma ASTM D570-98 modificada, con el objetivo de estudiar su permeabilidad y susceptibilidad a medios acuosos. Los datos utilizados en este ensayo se encuentran en el anexo A.

3.1.2 Ensayo de hinchamiento y ataque químico: Este ensayo se realizó en base a la norma ASTM D542-95, que estudia la exposición de materiales poliméricos a diferentes medios químicos, para determinar la degradabilidad y porcentaje de hinchamiento de los poliuretanos que van a ser evaluados como plantillas cuando son expuestos a medios ácidos (HCL 10% [v/v]), básicos (NAOH 10% [p/v]), salinos (NACL 35% [p/v]) y orgánicos (gasolina, varsol, ACPM). Los datos utilizados en este ensayo se encuentran en el anexo B.

3.2 REQUERIMIENTOS TÉRMICOS

3.2.1 Análisis Termo-gravimétrico (TGA): Esta prueba se realizó usando la termo-balanza TA Instruments 2050TGA, con una rampa en el calentamiento de 10°C/min desde una temperatura de 50°C hasta 700°, este rango de temperatura fue seleccionado con el fin de poder analizar como se ve comprometida la integridad del material.

3.2.2 Calorimetría Diferencial de barrido (DSC): Técnica experimental que permite determinar las transiciones que presenta el material debido a la cantidad de energía en forma de calor que libera o absorbe al ser sometido a un flujo de calor constante. Con esta prueba se busca determinar las temperaturas de Transición Vítreas y el efecto que ejerce el agente de refuerzo.

Se usó el equipo Discovery DSC con rampa de calentamiento de 10 °C/min y un flujo de 50 ml/ min de nitrógeno para los siguientes tres ciclos:

- 1) Calentamiento: desde 30°C hasta 200 °C
- 2) Enfriamiento: desde 200°C hasta -50 °C
- 3) Calentamiento: desde -50 °C hasta 400 °C.

3.3 REQUERIMIENTOS FÍSICOS-MECANICÁNICOS

3.3.1 Análisis de Dureza: Se usa este análisis para determinar la dureza de cada muestra mediante el uso de un durómetro tipo shore A, y comparar con la dureza de materiales que convencionalmente son usados en la producción de plantillas como el etilvenilacetato (EVA), polietileno, hule y evaluar si los materiales sintetizados cumplen con la dureza requerida para plantillas de calzado.

3.3.2 Análisis dinámico - mecánico (DMA): Debido a la posible aplicación como materiales para manufactura de plantillas y los esfuerzos mecánicos a los cuales pueden llegar a estar expuestas se desarrollaron los siguientes ensayos:

- Ensayo de flexión: Se usó una frecuencia de 1 HZ y una amplitud de 20 μm con una rampa de calentamiento de $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ durante los siguientes ciclos:
 - 1) calentamiento desde 35°C hasta 200°C y Enfriamiento desde 200°C hasta 90°C .
 - 2) calentamiento desde 90°C hasta 200°C con un nuevo enfriamiento hasta 90°C .
 - 3) Finalmente un nuevo calentamiento hasta los 200°C .
- Ensayo de carga máxima: Este ensayo permite determinar la carga máxima a la que puede ser sometido cada material antes de la ruptura así como la resistencia a sufrir una deformación asociada a un estímulo de presión. Las muestras se someten a una rampa de carga constante de 1 N/mm , estableciendo el valor de presión máximo al cual puede ser expuesto.
- Ensayo de compresión, modo de operación CREEP: se determina el porcentaje de deformación de las muestras cuando son sometidas a una carga constante de presión en base a la carga máxima que soporten antes de la ruptura, estas muestras son expuestas a una carga de presión constante durante diez minutos, posteriormente se retira la carga aplicada

y durante diez minutos de relajación de las muestras se registra el porcentaje de recuperación.

Los resultados de esta prueba serán comparados con otros estudios realizados donde se determinan el esfuerzo de compresión, el porcentaje de absorción de humedad, la dureza y porcentaje de deformación para materiales usados como plantillas (EVA, hule y polietileno).

En la siguiente tabla se reportan los valores de las respuestas del etil venil acetato (EVA), hule y polietileno [36], con los cuales serán comparados los resultados de las caracterizaciones.

Tabla 4. Características de materiales usados en la manufactura de plantillas de calzado. [24]

Prueba	Polietileno	EVA	Hule
Porcentaje de absorción de humedad	0.5	1.7	No se tiene información
Dureza (shore A)	28	39	6
Esfuerzo de compresión (Kpa)	98	275	No se tiene información
Porcentaje de deformación a 50 Kpa	50	15	70

Para el desarrollo de esta prueba se utilizó el equipo TA Instruments DMA Q800.

3.4 EVALUACIÓN DE DESINFECCIÓN

Posterior a la etapa de caracterización se decide realizar una evaluación de desinfección, debido a las propiedades desinfectantes del agente de refuerzo cuando absorbe luz ultravioleta.

Para realizar la evaluación de desinfección del material se desarrollaron dos etapas:

3.4.1 Cultivo de E.coli ATCC 11229.

1. En 100 ml de caldo nutritivo Luria Bertani (LB) se inocula la cepa bacteriana y se incuba durante 8 h a 36 °C con agitación constante de 100 rpm.
2. Después de 8 h se agregan 25 ml de LB y se vuelve a incubar a las mismas condiciones durante 15 h.
3. Finalizando las 15 horas se mide 1 ml de caldo de cultivo y se centrifuga a 3100 rpm durante 15 minutos para obtener el pellet de biomasa.
4. El pellet de biomasa es lavado con agua destilada y se centrifuga a 3100 rpm durante 15 minutos (esta operación se repite 2 veces).
5. Finalmente el pellet de biomasa se suspende en agua destilada y se agita. La concentración final de bacteria fue 10^7 Unidades formadoras de colonia/ml (UFC/ml).

3.4.2 Pruebas de desinfección fotocatalítica. Se realizó un diseño de experimentos básico (2^2). Dos niveles con dos factores como se observa en la tabla 4. El factor A representa el tiempo y sus niveles (alto: 5 horas, bajo: 3 horas), el factor B representa la concentración de TiO_2 (alto:5 mg/ml, bajo:3 mg/ml)

Tabla 5. Condiciones diseño de experimentos de desinfección. Autores

		Factores	
Nivel		A	B
	+	5 horas	5 mg de TiO_2 /ml
	-	3 horas	3 mg de TiO_2 /ml

Este diseño de experimentos se diseñó para evaluar la eliminación de bacterias por parte del material cuando se expone a una radiación de luz visible de 550 WATT/m² Valor máximo de irradiación del sol en la tierra [37].

3.5 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO (SEM)

Esta técnica permite observar la topografía del material. El uso de esta técnica permitió observar cómo se encuentra distribuido el refuerzo de TiO_2 en las muestras de estudio. Se utilizó el microscopio FEI QUANTA FEG 650.

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La nomenclatura de las muestras de estudio que se utilizan a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación se observan en la tabla 4.

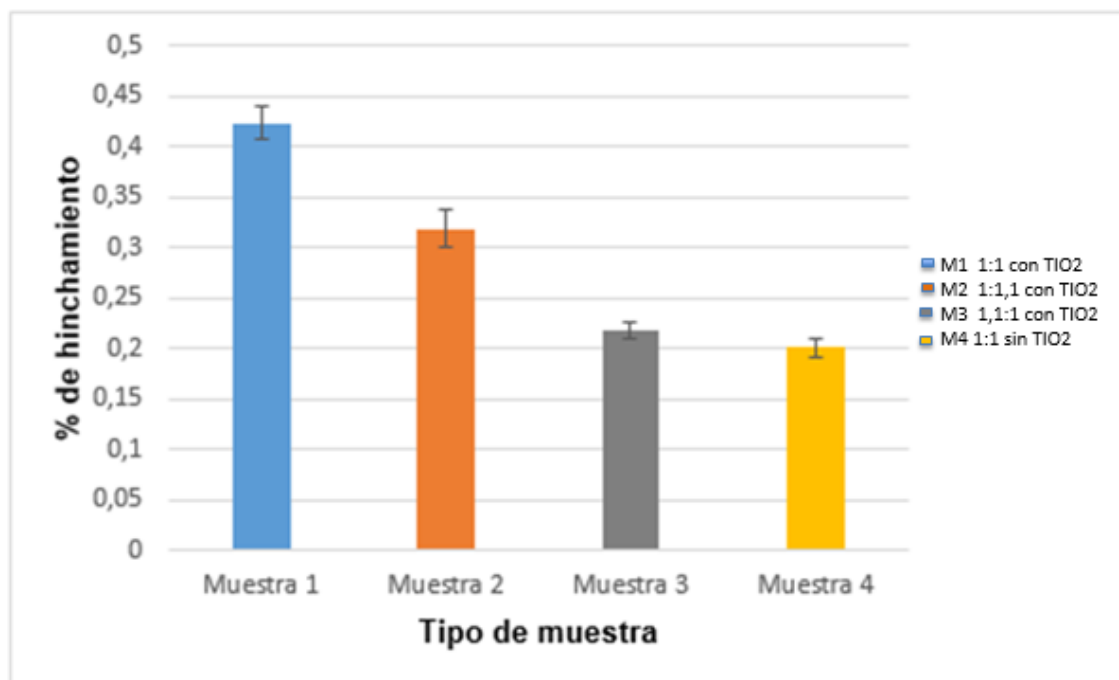
Tabla 6. Muestras de estudio

Nombre	Relación Molar NCO/OH	Concentración de TiO ₂ (mg/ml)
Muestra 1	1/1	5
Muestra 2	1/1.1	5
Muestra 3	1.1/1	5
Muestra 4	1/1	--

4.1 REQUERIMIENTOS FISICOQUÍMICO

4.1.1 Prueba absorción en medio Húmedo: De acuerdo a la norma ASTM D570-98 modificada, en la figura 7 se observa el porcentaje de hinchamiento de las cuatro muestras cuando son inmersas en agua, Se observa que el porcentaje de hinchamiento es menor al 0.5% en todas las muestras. La baja variación del peso de las muestras expuestas al medio acuoso determina que tendrán una baja capacidad absorción de agua al ser sometidas a medios húmedos, lo que indica que no se observaran variaciones en su aspecto físico.

Figura 7. Porcentaje de hinchamiento en agua



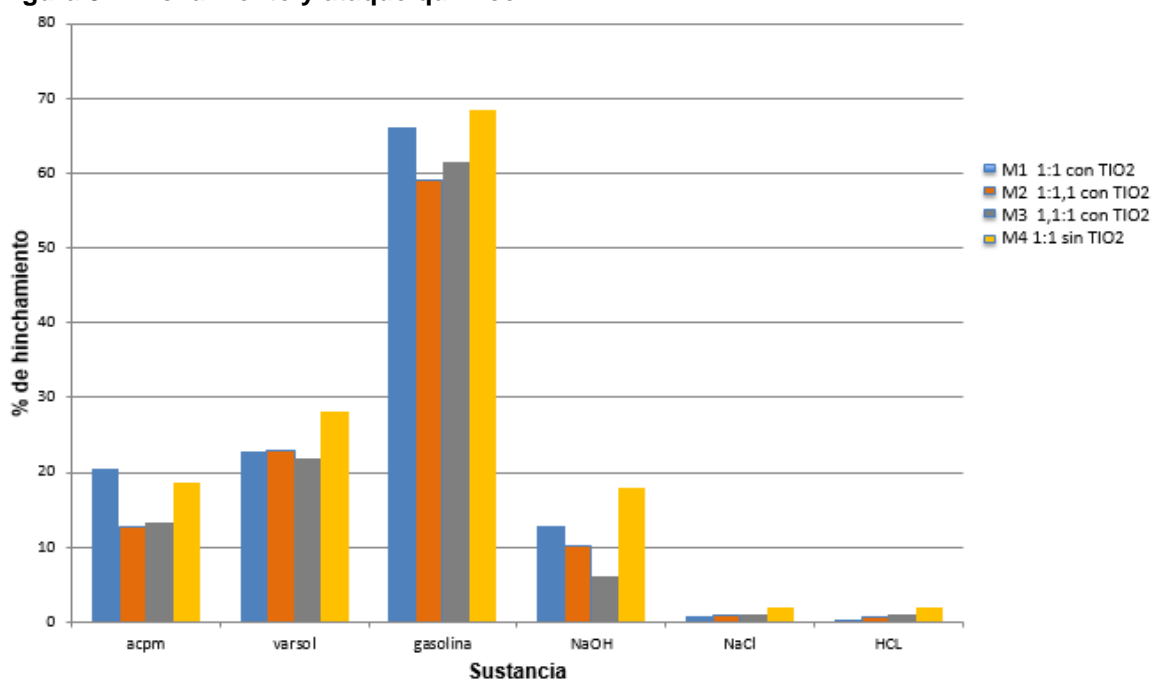
Al comparar estos resultados obtenidos con los valores reportados para Materiales usados como plantillas [38] como se observa en la tabla 7, Esto indica que los materiales sintetizados son aptos para ser expuestos a medios acuosos sin tener una variación en su aspecto y dimensiones.

Tabla 7. Porcentaje de hinchamiento de las muestras de estudio y algunos materiales de uso común en la fabricación de plantillas

Tipo de material	% de hinchamiento
Polietileno	0.5
EVA	2
Muestra 1	0.4
Muestra 2	0.3
Muestra 3	0.2
Muestra 4	0.2

4.1.2 Prueba de hinchamiento y ataque químico: En la figura 8 se muestran los resultados del ensayo de hinchamiento y ataque químico establecidos en la norma (ASTM D542-95). Las muestras fueron expuestas a medio ácido (HCL 10% [v/v]), básicos (NAOH 10% [p/v]), salinos (NACL 35% [p/v]) y orgánicos (gasolina, varsol, ACPM).

Figura 8. Hinchamiento y ataque químico.



Con esta prueba se determinó que la exposición del material a medios orgánicos genera mayor porcentaje de hinchamiento en comparación a los solventes ácidos y salinos.

La gasolina es el solvente que presenta mayor porcentaje hinchamiento seguido del varsol y ACPM, esto indica que entre menor sea el tamaño molecular de la sustancia mayor será su difusión dentro de la estructura del poliuretano. Además las muestras que tienen relleno presentan menos espacios vacíos en su estructura disminuyendo la capacidad de difusión de los solventes dentro del material.

La probable exposición de estos materiales a medios salinos generados por la acumulación de sales corporales provenientes de la transpiración del cuerpo

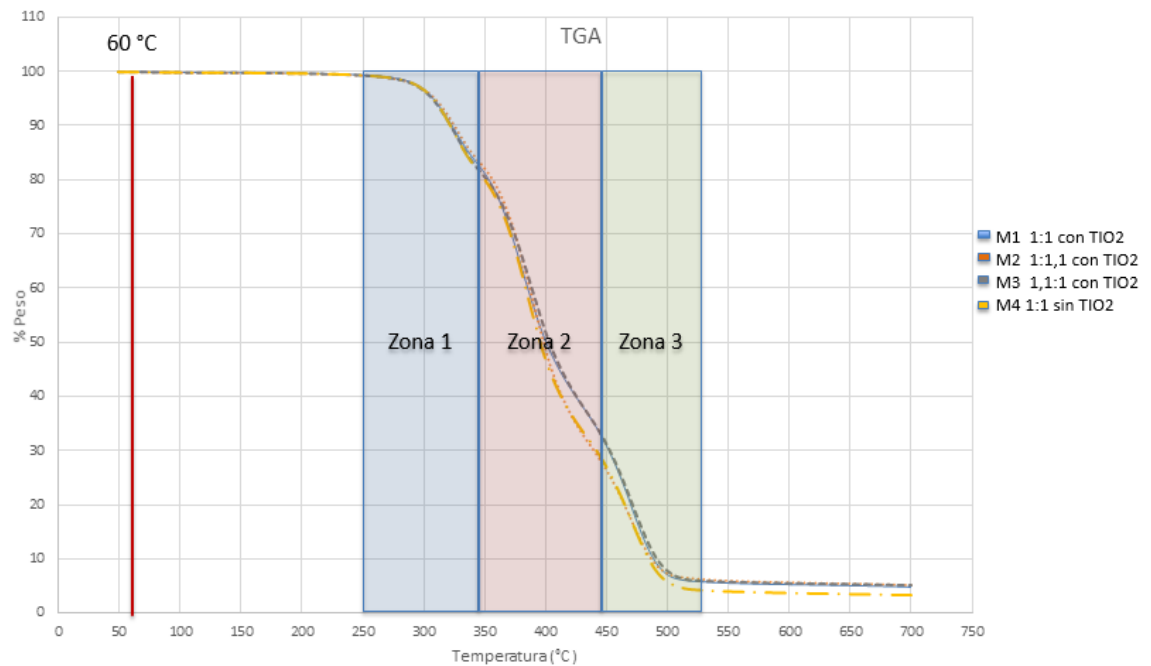
humano, no tendrán una variación sobre las propiedades de los materiales usados como plantillas.

4.2 REQUERIMIENTOS TÉRMICOS

4.2.1 Estabilidad térmica del material (TGA): La figura 9 muestra los termogramas (TGA) de Pu-TiO₂ Obtenidos para las muestras de estudio. En estos resultados se observa un rango de descomposición térmica que se encuentra entre los 250°C y 550°C, este segmento se encuentra distribuido en tres zonas. La primera zona se encuentra entre 250 °C y 350 °C, en esta zona las muestras disminuyen el 20% de su peso esto se debe a la descomposición térmica de hidrocarburos alifáticos lineales y oligómeros que se descomponen a temperaturas cercanas a los 314 °C [39]. La segunda zona se encuentra entre 350°C – 450 °C, muestra la degradación de ramificaciones que se presentan en las moléculas que constituyen los enlaces uretanos (secciones de ácidos, esterres o isocianato que están unidos a la red principal, que no reaccionaron) registrando una pérdida de peso del 40%. La zona 3 se encuentra entre los 450 °C – 525 °C, con un porcentaje de pérdida de peso del 30% asociado al rompimiento de las redes que conforman el poliuretano [40, 41].

Para las cuatro muestras de estudio se determinó que las muestras ven comprometida su integridad al registrarse una variación del 10% en peso cuando alcanza una temperatura de 324 °C, esta temperatura se encuentra muy por encima de la temperatura máxima a la cual puede llegar a estar expuesta una plantilla de acuerdo a la temperatura corporal y la temperatura inducida por el ambiente que llega a los 60 °C aproximadamente. Con esta prueba se determina que las muestras evaluadas para su uso como plantillas no degradaran por un estímulo térmico inferior a los 220 °C, lo que permite su uso como parte del calzado.

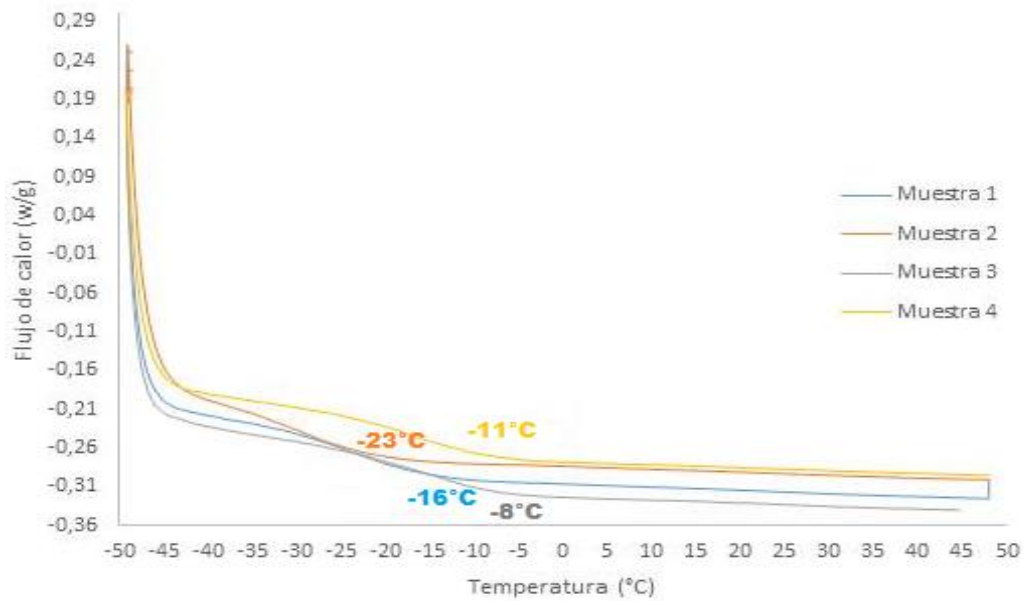
Figura 9. Análisis Termogravimetrico



Se evidencia que las cuatro muestras tuvieron un comportamiento de degradación térmica similar, sin embargo la variación del porcentaje en peso con respecto a la variación de temperatura se ve modificada significativamente por el refuerzo (TiO_2), esto se observa al comparar las gráficas de las muestras 1 y 4, lo que sugiere que el agente de refuerzo mejora la estabilidad térmica del material al introducirse dentro de los intersticios vacíos de la red del poliuretano[42], además la muestra 3 con exceso de diisocianato al aportar una mayor cantidad de segmentos rígidos a la estructura de la muestra ejerce un efecto igualmente significativo en la estabilidad térmica del material, ambos casos registrados en la segunda zona como se muestra en la figura 9[43,44].

4.2.2 Calorimetría Diferencial de barrido (DSC): La figura 10 muestra el análisis térmico (DSC) para los materiales compuestos estudiados donde se observan la temperatura de transición vítrea que presentan las muestras de estudio.

Figura 10. Temperatura de transición vítrea



La temperatura de transición vítrea (T_g) de las muestras se encuentra entre los $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, además de observar que todas las cuatro muestras de estudio presentan un comportamiento endotérmico, en el caso de la muestra 4 que no dispone de refuerzo, muestra un flujo de calor (aproximadamente -0.25 w/g) para llegar a su temperatura de transición vítrea a diferencia de la muestra 1 la cual presenta refuerzo de TiO_2 e igual relación molar, que presenta un flujo calorífico (aproximadamente -0.29 w/g) para alcanzar su temperatura de transición vítrea, estas dos muestras presentan una diferencia de $12\text{ }^{\circ}\text{C}$ cuando alcanzan un flujo de calor de 0.25 w/g lo que indica que la presencia de refuerzo dentro de la estructura del material probablemente absorbe energía en forma de calor que se induce al material. De igual forma la variación en la relación molar varía el flujo de calor que requiere el material para llegar a su T_g . [45].

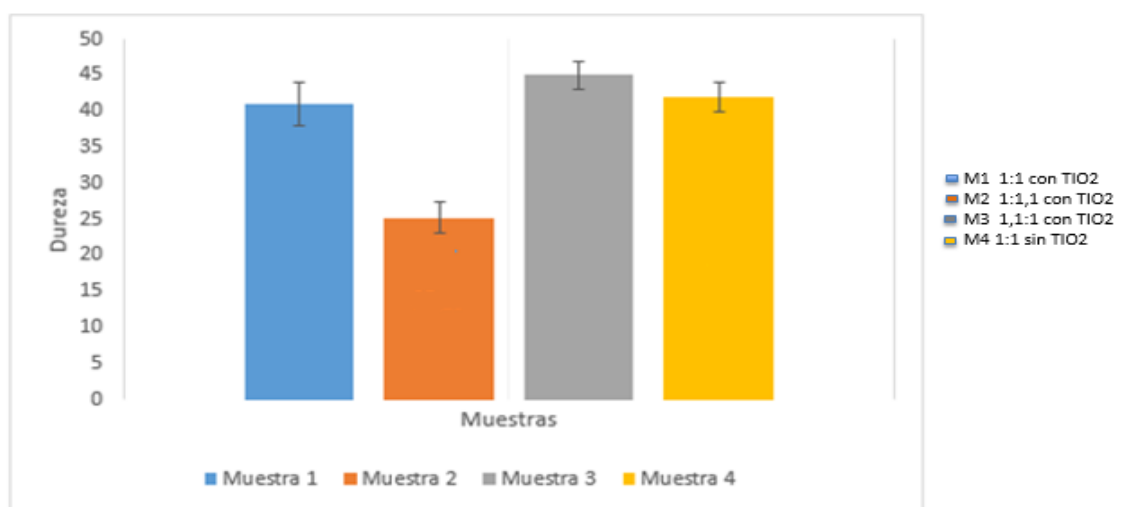
Lo que indica una temperatura de transición vítrea de estos materiales en regiones próximas a los materiales de uso comercial en la fabricación de plantillas. La temperatura de transición vítrea del polietileno es de $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ la del hule natural se encuentra alrededor de los $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ [46]. Con este estudio se identifica que los materiales tendrán un comportamiento elástico y serán más

flexibles debido a que su temperatura de uso se encuentra por encima de los 25 °C temperatura promedio ambiente.

4.3 REQUERIMIENTOS MECÁNICOS

4.3.1 Ensayo de dureza: Los resultados del ensayo de dureza se muestran en la figura 11.

Figura 11. Dureza shore A



La dureza de las muestras de estudio determina que la relación molar tiene incidencia sobre la capacidad del material a ser penetrado, un exceso de polioli indica una facilidad a sufrir una deformación permanente cuando la muestra es penetrada. No se observa que la muestra sin refuerzo de TiO₂ (muestra 4) presente una variación en la dureza respecto a la muestra 1 que dispone de refuerzo e igual relación molar.

Estudios desarrollados [47] determinan que el rango de dureza para la aplicación de un material como plantilla de calzado esta entre (15-58) shore A.

Como se muestra en la tabla 8, esto refleja que los materiales sintetizados tendrán un comportamiento similar en la aplicación de plantillas de calzado.

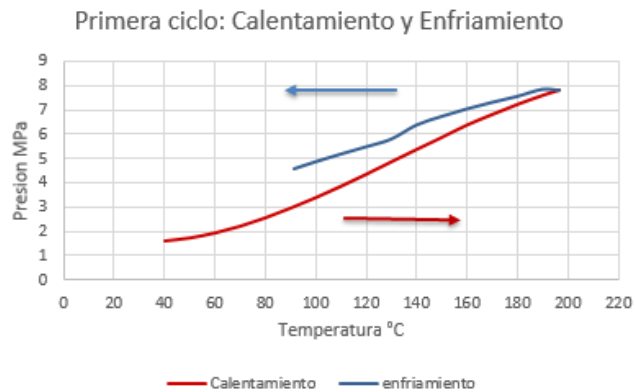
Tabla 8. Dureza de las muestras de estudio y de algunos materiales usados para la fabricación de plantillas de calzado

Tipo de material	Dureza (shore A)
Polietileno	28
EVA	39
Muestra 1	40
Muestra 2	25
Muestra 3	45
Muestra 4	42

4.3.2 Prueba de flexión: En la figura 12 se observa la variación del módulo de almacenamiento que describe el comportamiento elástico de la muestra de estudio 1 y el módulo de pérdida que representa su parte viscosa después de realizado un tratamiento térmico (ciclos de calentamiento y enfriamiento).

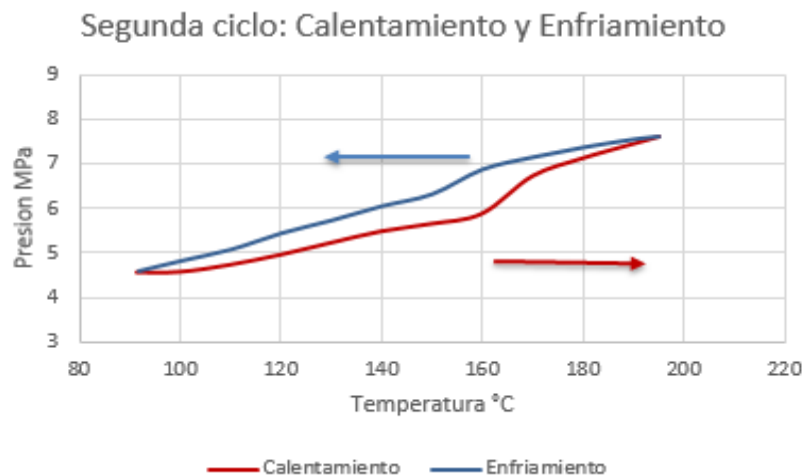
En el primer ciclo las muestras son calentadas hasta alcanzar una temperatura de 200 °C como se muestra en la figura 12, en este proceso las cadenas del poliuretano se reordenan [48] y llevan a cabo las reacciones incompletas realizando un poscurado del material, alcanzando un máximo de su módulo de almacenamiento (8 Mpa), posteriormente se realiza un enfriamiento desde los 200°C hasta los 90 °C en donde se registra un mínimo en el módulo de almacenamiento (aproximadamente de 4 MPa).

Figura 12. Primer ciclo del tratamiento de flexión



En el segundo ciclo mostrado en la figura 13 el material nuevamente se lleva hasta los 200°C registrando un valor aproximado de 7,7 MPa, lo que indica una probable fatiga del material con respecto a este tratamiento realizado, una vez alcanzados los 200°C se realiza un enfriamiento hasta los 90°C en donde se registra un valor de 4 Mpa nuevamente en su módulo de almacenamiento.

Figura 13. Segundo ciclo del tratamiento de flexión



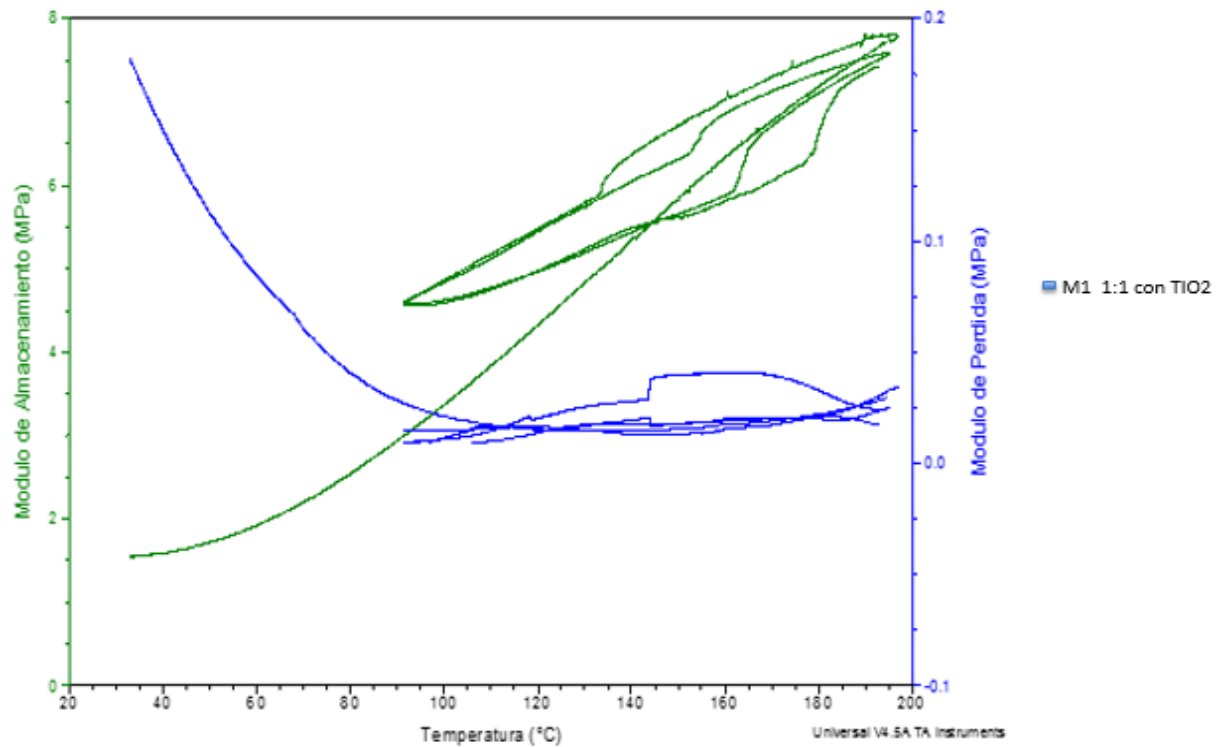
Finalmente en el último ciclo de calentamiento mostrado en la figura 14 se registra un valor de 7.5 Mpa en el módulo de almacenamiento, esta disminución también es probablemente atribuida a la fatiga del material.

Figura 14. Tercer ciclo del tratamiento de flexión



El resultado de los ciclos realizados se muestra en la figura 15

Figura 15. Módulos de almacenamiento y pérdida en la muestra 1



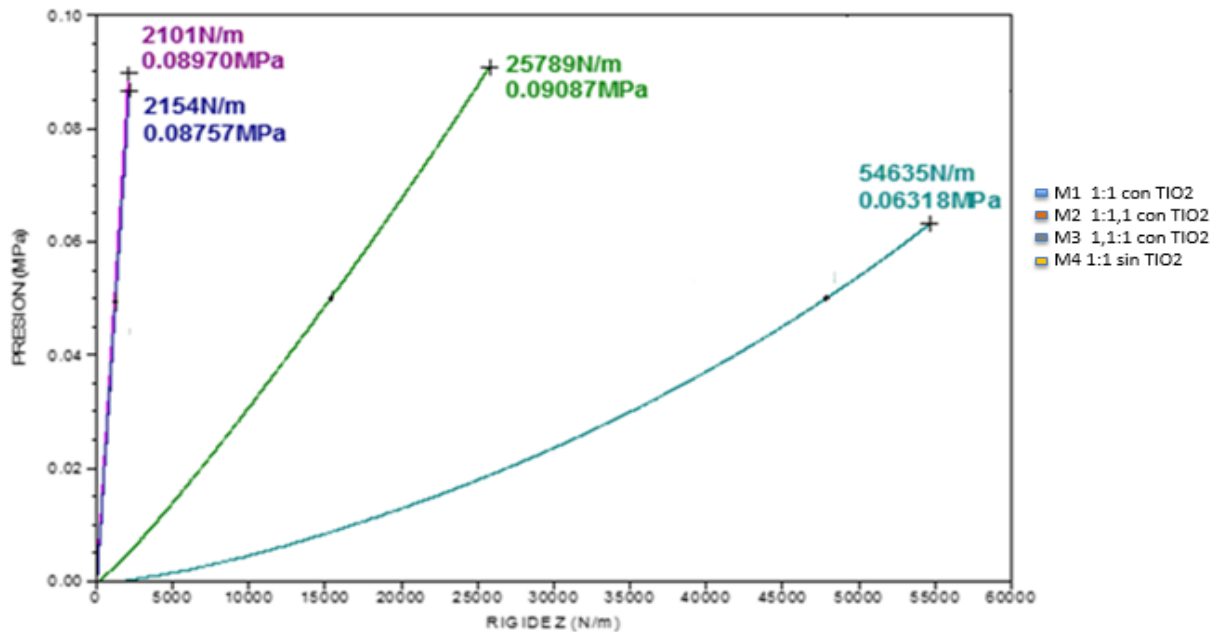
Los módulos de almacenamiento de las muestra de estudio determinaron que la relación molar varia el rango del módulo de almacenamiento y para todos los casos el módulo de pérdida era cercano a cero, lo que indica que las muestras almacenaran la mayor parte de la energía para después recuperarse del

esfuerzo aplicado. Cuando los materiales exceden su límite elástico tendrán una ruptura [49].

En materiales comerciales para plantillas como el hule el módulo de almacenamiento alcanza los 7 MPa [50], en comparación con este material de estudio que alcanza un valor de 8 MPa logra tener una mayor capacidad para soportar estímulos de flexión antes de alcanzar una deformación plástica.

4.3.3 Prueba control de fuerza: La figura 16 representa la variación de la presión y la rigidez de las muestras de estudio.

Figura 16. Carga y rigidez de las muestras de estudio

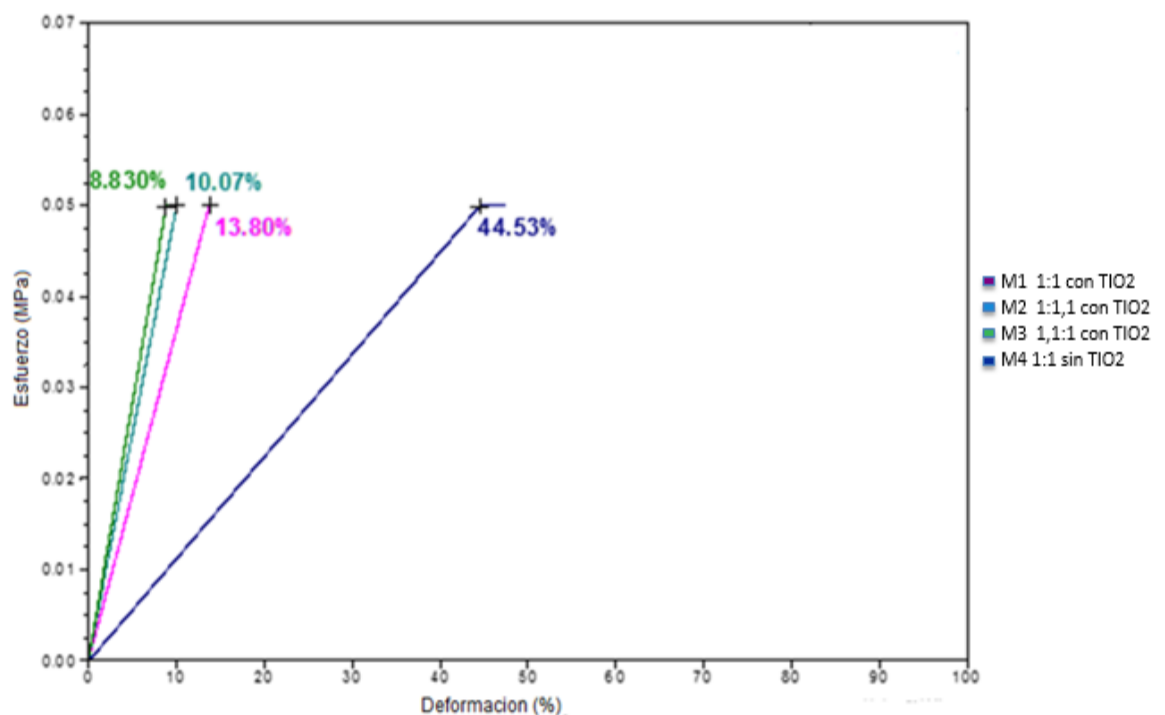


Se puede observar que el refuerzo de la muestra 1 determina una variación de 2 KPa en comparación a la carga antes de la ruptura de la muestra 4. De igual forma una variación de la relación molar induce cambios en la carga máxima de cada muestra, el material con exceso de grupos isocianato tendrá un valor de carga máximo mayor que los otros materiales, pero una baja capacidad para soportar estos esfuerzos, determinada a partir de la rigidez. En contraste con la muestra que tiene exceso de polioliol con capacidad para soportar este tipo de

esfuerzo pero un valor de carga antes de la ruptura inferior. Se ha reportado que los valores de carga máxima de polietileno para plantillas es 98 Kpa esto indica que los valores registrados de la muestras sintetizadas son aptos para su uso como plantilla de calzado.

4.3.4 Prueba de compresión: Una vez determinada la carga antes de la ruptura del material, se realizó la prueba de compresión usando el método creep a 50 KPa durante un tiempo de exposición de 10 minutos. En la figura 17 se observa el porcentaje de deformación de cada muestra.

Figura 17. Prueba de compresión



La muestra 4 con una relación NCO/OH = 1/1 sin TiO₂ dispone de un porcentaje de deformación mayor que la muestra 1 la cual tiene la misma relación molar y TiO₂ dentro de su estructura. La presencia del refuerzo dentro del material genera que las cadenas que conforman el poliuretano limiten su espacio de movimiento restringiendo la capacidad de deformación de la muestra, este efecto se puede analizar de forma análoga con las muestras 2 y 3, esta última con

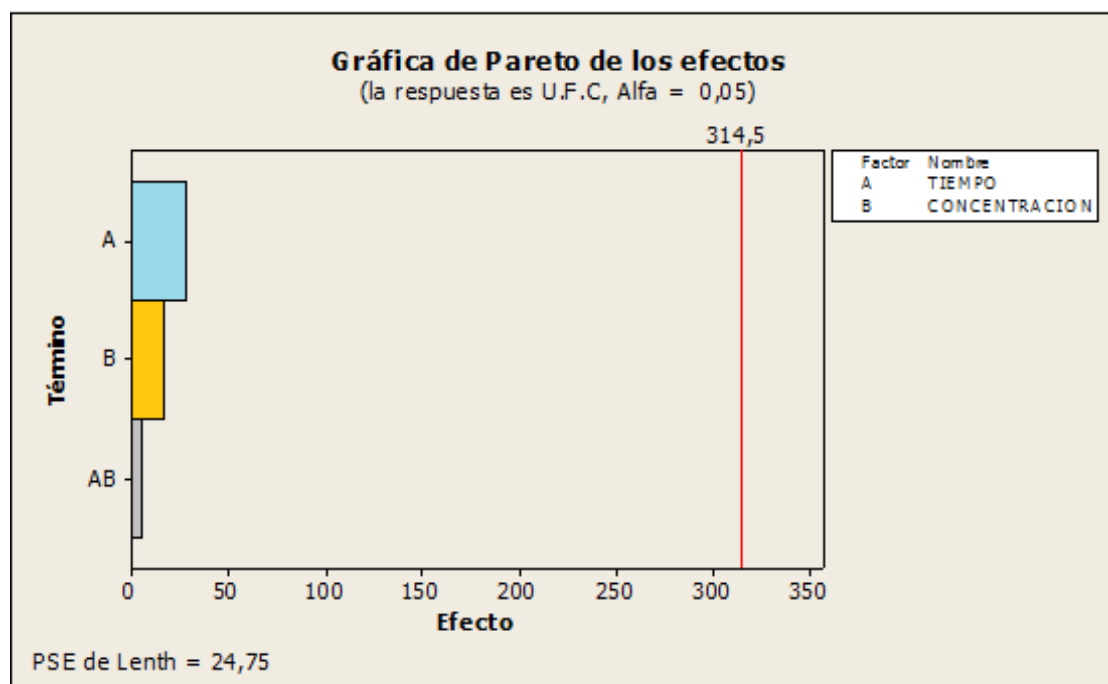
mayor presencia de segmentos rígidos, que impide al material tener un comportamiento elástico. El EVA, polietileno y hule natural al ser sometidos a cargas de 50 Kpa presentan deformaciones entre 10% y 30%, de acuerdo a lo anterior las muestras cumplen con el parámetro de deformación de plantillas de calzado.

4.4 EVALUACIÓN DE DESINFECCIÓN

Debido a las propiedades de desinfección que presenta el refuerzo usado en este proyecto de grado, se realiza una evaluación de la capacidad auto desinfectante de las plantillas sintetizadas.

En la figura 18 se observan los resultados del proceso de desinfección y la incidencia que tienen las variables estudiadas sobre la desinfección de los materiales obtenidos.

Figura 18. Análisis de desinfección



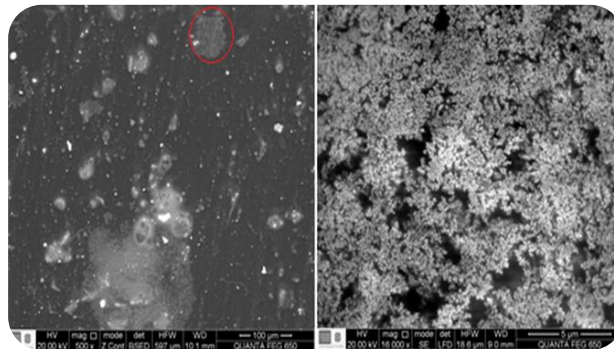
Estos resultados indican que el material presenta baja efectividad en la desinfección, debido a la no uniformidad del TiO_2 en la matriz polimérica generando una baja efectividad en la reducción de *E.coli*, Esto se debe a que el

relleno no recibe la suficiente energía de activación que permite el paso del electrón desde la banda de valencia a la banda de conducción para generar los radicales hidroxilos y peróxidos capaces de degradar la materia orgánica, solo algunas regiones actuaran como focos desinfectantes, limitando la capacidad de desinfección de las muestras. Esto se corrobora con el estudio realizado (anexo D)

4.5 MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

En base a los resultados obtenidos en la evaluación de desinfección, en la figura 19 se muestra como es la distribución del refuerzo en la matriz del poliuretano.

Figura 19 Microscopia electrónica de barrido



Se observa que el material usado como refuerzo no se encuentra uniformemente distribuido lo cual indica una variación de las propiedades a lo largo del material, esta no uniformidad del agente de refuerzo en la superficie del material genera pequeños focos de activación fotocatalítica insuficientes para observar una reducción significativa en el número de unidades formadoras de colonia [51,52].

4.6 RADIOMETRO

Tiempo de radiación U.V y concentración de TiO_2

Adicionalmente con esta prueba se determinó que después de una hora de ser expuestas las muestras la intensidad de luz UV absorbida es insuficiente para lograr una activación de la foto catalizador.

Figura 20 Absorción de luz del poliuretano sintetizado



En la figura 20 se observa la intensidad de luz registrada por la cámara suntuosa cp+ versus tiempo, se aprecia que la intensidad disminuye con el tiempo, lo cual indica que el TiO_2 inmovilizado en el poliuretano se está activando y generando actividad fotocatalítica pero no es suficiente para la eliminación de *E. coli*. (Anexo E)

5. CONCLUSIONES

Se logró establecer una ruta en la síntesis de poliuretano Usando como unidad de Reacción la extrusora de un husillo al lograr fijar los parámetros de operación del equipo.

Poliuretanos reforzados con TiO_2 presentan propiedades como dureza, carga antes de la ruptura, absorción de humedad y temperatura de transición vítrea, similar a algunos materiales usados en plantillas lo que indica la probable aplicación en la manufactura de plantillas de calzado

La absorción de luz U.V por parte del material no es suficiente para activar la foto catalizador e iniciar su efecto desinfectante además de la no uniformidad del agente de refuerzo sobre la superficie del material.

6. RECOMENDACIONES

- Determinar la influencia que tiene la forma de inmovilizar el TiO_2 en la eliminación microbiana del material
- Usar otros agentes de refuerzo con capacidad de degradación bacteriana.
- Realizar un estudio que determine la influencia de los agentes entrecruzantes sobre las propiedades mecánicas del material aplicado a la industria del calzado

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

1. UNIVERSIDAD DE VALLADOLID. Formado de Láminas [en línea]. <<http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/dctos/Matrices/troquelado.pdf>>[citado en 17 marzo 2015].
2. Noyola, Fernando. Materiales para calzado. Jalisco distrito federal de México.: Herbal, 2006, 92 p.
3. Obando, Loida. Espinoza, Jairo. Rivas, Daysi. Mantenimiento y preparación de insumos para elaboración de calzado. Nicaragua.: Arlequin, 2011, 29 p.
4. INSTITUTO NACIONAL DEL EMPRENDEDOR. Productos y materia prima [en línea]. <<http://www.contactopyme.gob.mx/guiasempresariales/guias.asp?s=14&ins=240>>[citado en 24 marzo 2015].
5. INSTITUTO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE POLIMEROS. Troquelado de polímeros [en línea]. <<http://www.ictp.csic.es/ICTP2/>> [citado en 20 marzo 2015].
6. UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA. Producción de plantillas [en línea]. <<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/11059/4017/1/658542A478.pdf>> [citado en 20 mayo de 2015].
7. Castro, Javier. Fundamentos de conformado plástico. Buenos aires.: Paidós, 2008, 53 p.

8. ERMENGENIERING. Corte con troqueladora [en línea]. <http://ermengineering.com/files/products/drawings/Manual_de_uso_AFP-200_Espa%C3%B1ol.pdf>[citado en 20 mayo de 2015].
9. Antonio, P., Perry, S. Quantifying stair gait stability in young and older adults with modifications to insole hardness. En: Gait and Posture. Abril, 2014. vol. 40, no. 3, p. 429–434.
10. Chatzistergos, F., Panagiotis, E., Naemi, R., Chockalingam, N. A method for subject-specific modelling and optimisation of the cushioning properties of insole materials used in diabetic footwear. En: Medical Engineering and Physics. 2015. Vol. 000, p. 1–8.
11. Liu, X., Zhang, M. Redistribution of knee stress using laterally wedged insole intervention: Finite element analysis of knee-ankle-foot complex. En: Clinical Biomechanics. 2013. Vol. 28, no. 1, p. 61–67.
12. Shariatmadari, M., Mohammad, R., English, R., Rothwell, G. Effects of temperature on the material characteristics of midsole and insole footwear foams subject to quasi-static compressive and shear force loading. En: Materials and Design. 2012. Vol. 37, p. 543–559.
13. Shimazaki, Y., Murata, M. Effect of gait on formation of thermal environment inside footwear. en: Applied Ergonomics. 2015. Vol. 49, p. 55–62
14. Yick, K.L., TSE, C.Y. Textiles and other materials for orthopaedic footwear insoles. En: Materials and Design. 2012. Vol. 36, p. 522–533

15. INSTITUTO DE BIOMEDICA DE VALENCIA. Guía para el asesoramiento en selección de plantillas [en línea]. <http://www.uclm.es/PROFESORADO/xaguado/ASIGNATURAS/BTD/4-Apuntes/Tema01/calzado_plantillas.pdf>[citado en 20 mayo de 2015].
16. GIUDICE, Ca and PEREYRA, Am. Tecnología de pinturas y recubrimientos. Buenos Aires.: Edutecne, 2009, 284 p
17. Ocampo, Julio. Criterio de formación de espumas de poliuretano basados en criterios de propiedades finales. Trabajo de grado Ingeniero Químico. Bogota DC.: Universidad nacional de Colombia. Facultad de ingenierías. Ingeniería química. 2012, 89 p
18. LOCTITE. Sellantes para blindaje automotriz Sistema de blindaje para automóviles [en línea]. <<http://www.loctite.es/tecnologia-de-adhesivos-para-la-industria-medica-7022.htm>> [20 de mayo de 2015].
19. ABC SALUD. Plantillas una solución eficaz para prevenir lesiones [en línea].<<http://www.abc.es/salud/noticias/20140131/abci-plantillas-201401311235.html>> [Citado en 15 de mayo de 2015].
20. IONESCU, Thomas. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. shrewsbury, Reino Unido: McGraw Hill, 2005. 13 p
21. SIMPA S.A.S. Ficha técnica del poliuretano [en línea]. <<http://www.cimpaltda.com/modulo/quimicos/aceite%20de%20ricino%20o%20castor.pdf>> [citado en 20 de feb de 2015]

22. Ramírez, Carlos Enrique. Plan de empresa basado en el aceite de higuera para la industria cosmética. Trabajo de grado Maestría en administración con énfasis en gestión estratégica. Cali.: Universidad ICESI. Facultad de ciencias administrativas y económicas. Maestría en administración, 2011. 74 p
23. Puertas, Jenny., Buitrago, Lina. Síntesis básica de elastómeros de poliuretanos para definir criterios de aplicación industrial. Trabajo de grado para Ingeniero Químico. Bucaramanga.: Universidad industrial de Santander. Facultad fisicoquímicas, escuela de ingeniería química, 2013. 67 p
24. Valero, Manuel Fernando. Estudio de las propiedades mecánicas, térmicas, reológicas y morfología de poliuretanos a partir de aceite de higuera modificado por transesterificación. Trabajo de grado para Ingeniero Químico. Bucaramanga.: Universidad industrial de Santander. Facultad fisicoquímicas, escuela de ingeniería química, 2008. 76 p
25. IONESCU, Thomas. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. shrewsbury, Reino Unido: McGraw Hill, 2005. 8 p
26. BOSTIK. Hojas de datos de seguridad [en línea] .<
<http://www.fltrading.com/Bostik/agent/library/BST%20Spanish%20MSDS.pdf>> [23/abril/2015].
27. Zeng, X., Yu, S., Sun, R., Xu, J. Mechanical reinforcement while remaining electrical insulation of glass fibre/polymer composites using core-shell cnt@siO₂ hybrids as fillers. En: Composites part a: applied science and manufacturing. 2015. vol. 73, p. 260–268

28. Király, A., Ronkay, F. Temperature dependence of electrical properties in conductive polymer composites. En: Polymer testing. 2015. vol. 43, p. 154–162
29. Wang, Q., Song, W., Fan, L., Shi, G. 2015, effect of alumina on triethylene glycol diacetate-2-propenoic acid butyl ester composite polymer electrolytes for flexible lithium ion batteries. En: Journal of power sources. 2015. vol. 279, p. 405–412.
30. Ramírez, Sebastián. Síntesis y caracterización de materiales compuestos a base de fibra de carbono y poliuretano. En: Ciencia y tecnología, 2011. Vol 87, p 25-45
31. BESEDNJAK. Los materiales compuestos [en línea]. <<http://kimerius.com/app/download/5781437527/Los+materiales+compuestos.pdf>>[citado en 19 marzo 2015].
32. Król, P., Król, B., Kozakiewicz, J., Zapotoczny, S., Pilch-Pitera, B., & Kozdra, S. Composites prepared from polyurethanes modified with silicone-acrylic nanopowders. En: Progress in Organic Coatings, 81, 72–79.
33. SELVIN, T., KURUVILLA, J., SABU, T. Mechanical properties of titanium dioxide-filled polystyrene microcomposites. En: Materials Letters. 2004. Vol. 58, no. 3-4, p. 281–289.
34. VALERO, Manuel F. Adhesivos tipo poliuretano obtenidos a partir de aceite de ricino y almidon químicamente modificados. Quim. Nova, 2013, vol 36, no 5, p. 657-662

35. Salehpour, s., Dube, M. Towards the sustainable Production of higher molecular weight polyglycerol. En: Mocomol Chem Phys. 2012. Vol. 21, p 67-75
36. Mata, A., Vega-Baudrt, J., Montero, M., Saenz, A. Estudio biomecánico de materiales poliméricos para la fabricación de plantillas ortopédicas. En: Technol. Ciencia. 2001. Vol. 16, p. 69-76
37. Lorente, Jerónimo. La radiación solar [en línea].: <<http://www.portalfarma.com/Profesionales/campanaspf/categorias/Documents/MAQUETACION%20MATERIAL%20FORMATIVO%20fotoproteccionfotproc2010.pdf>> [citado en 30 marzo 2015].
38. Chatzistergos, Panagiotis E, Naemi, Roozbeh and Chockalingam, Nachiappan, 2015, A method for subject-specific modelling and optimisation of the cushioning properties of insole materials used in diabetic footwear. Medical Engineering and Physics [online]. 2015. Vol. 000, p. 1–8.
39. BIONKA ESTUDIOS BIOMEDICOS. Etil venil acetato [en línea]. <http://bionika.es/blog/que_es_el_eva_el_material_de_nuestras_plantillas/> [20 de febrero de 2015].
40. Mohammad, R., Russell, G. Effects of temperature on the material characteristics of midsole and insole footwear foams subject to quasi-static compressive and shear force loading. En: Materials and Design. 2012. Vol. 37, p. 543–559.

41. Shimazaki, Y., Murata, M. Effect of gait on formation of thermal environment inside footwear. En: Applied Ergonomics. 2015. Vol. 49, p. 55–62
42. Benjumea, P., Pashova, V. El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diésel. En: Dyna. 2007. p. 141–150.
43. IONESCU, Thomas. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. shrewsbury, Reino Unido: McGraw Hill, 2005. 15 p
44. Gómez, C., Culebras, M., Cantarero, A., Redondo-Foj, B., Ortiz, P., Carsí, M., Sanchis, M. Experimental study of dynamic behavior of graphite–polycarbonatediol polyurethane composites for protective coatings. En: Applied surface science. June 2013. vol. 275, p. 295–302.
45. IONESCU, Thomas. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. shrewsbury, Reino Unido: McGraw Hill, 2005. 23 p
46. KULSHRESHTHA, Anand K. Handbook of polymer blends and composites. iSmithers Rapra Publishing, 2002. 218 p
47. KULSHRESHTHA, Anand K. Handbook of polymer blends and composites. iSmithers Rapra Publishing, 2002. 196 p
48. Cinelli, P., Anguillesi, I., Lazzeri, A. Green synthesis of flexible polyurethane foams from liquefied lignin. En: European polymer journal. 2013. vol. 49, no. 6, p. 1174–1184.

49. Lorente, Jerónimo. la radiación solar. [en línea], <http://www.portalfarma.com/profesionales/campanaspf/categorias/documentos/maquetacion%20material%20formativo%20fotoproteccionfotproc2010.pdf> [citado el 2 de junio de 2014]
50. Cervantes, J., Espinosa, J., Cauich, L., Avila, A., Vázquez, H. Studies of segmented aliphatic polyurethanes and their nanocomposites prepared with commercial montmorillonites. En: Polymer degradation and stability. 2009. vol. 94, no. 10, p. 1666–1677
51. Ristić, I., Budinski, J., Krakovsky, C., Nikolić, S. The properties of polyurethane hybrid materials based on castor oil. En: Materials chemistry and physics. 2012. vol. 132, no. 1, p. 74–81
52. Chattopadhyay, D., Webster. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. En: Progress in polymer science (Oxford). 2009. vol. 34, no. 10, p. 1068–1133

BIBLIOGRAFIA

A. Brent Strong. "PLASTICS MATERIALS AND PROCESSING". Prentice-Hall, Inc., 1996

A.N. Wilkinson and A.J. Ryan. "POLIMER PROCESSING AND STRUCTURE DEVELOPMENT". Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998.

A.V. Pocius. "Adhesion and Adhesives Technology". Hanser, 1997

Benjumea, P., Pashova, V. El biodiesel de aceite de higuera como combustible alternativo para motores diésel. En: Dyna. 2007. p. 141–150.

Birley/ Haworth/ Batchelor. "PHYSICS OF PLASTICS". Hanser Publishers, Munich, 1992.

C. Rauwendaal. "Polymer Extrusion". Hanser, 1994

Cervantes, J., Espinosa, J., Cauich, L., Avila, A., Vázquez, H. Studies of segmented aliphatic polyurethanes and their nanocomposites prepared with commercial montmorillonites. En: Polymer degradation and stability. 2009. vol. 94, no. 10, p. 1666–1677

Chattopadhyay, D., Webster. Thermal stability and flame retardancy of polyurethanes. En: Progress in polymer science (oxford). 2009. vol. 34, no. 10, p. 1068–1133

Cinelli, P., Anguillesi, I., Lazzeri, A. Green synthesis of flexible polyurethane foams from liquefied lignin. En: European polymer journal. 2013. vol. 49, no. 6, p. 1174–1184.

D.M. Bryce. "Plastics Injection Molding". SME, 1996

D.W. Clegg and A.A. Collyer. "The Structure and Properties of POLYMERIC MATERIALS". The Institute of Materials, 1993.

Donald V. Rosato and Domionick V. Rosato. "INJECTION MOLDING HANDBOOK" by Chapman & Hall. ITP, 1995.

Donald V. Rosato, David P. DiMattia, Dominick V. Rosato. "DESIGNING WITH PLASTICS AND COMPOSITES. A HANDBOOK"., Ed. Van Nostrand Reinhold. New York, 1991.

E.A. Muccio. "Plastics Processing Technology". ASM International, 1994

Edward A. Muccio. "PLASTIC PROCESSING TECHNOLOGY". ASM International, 1994.

Enric Gil Bas. "COLORACIÓN DE MATERIAS PLÁSTICAS". Centro Español de Plásticos, 1990.

Gnauck / Fründt. INICIACIÓN A LA QUÍMICA DE LOS PLÁSTICOS. 1989, Hanser.

Gómez, C., Culebras, M., Cantarero, A., redondo-foj, B., Ortiz, P., Carsí, M., Sanchis, M. Experimental study of dynamic behavior of graphite– polycarbonatediol polyurethane composites for protective coatings. En: Applied surface science. June 2013. vol. 275, p. 295–302.

Hellerich/Harsch/Haenle. GUÍA DE MATERIALES PLÁSTICOS Propiedades ensayos parámetros. Hanser Editorial, 1989.

IONESCU, Thomas. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. shrewsbury, Reino Unido: McGraw Hill, 2005.15 p

IONESCU, Thomas. Chemistry and technology of polyols for polyurethanes. shrewsbury, Reino Unido: McGraw Hill, 2005.23 p

J.L. Throne. "Technology of Thermoforming". Hanser, 1996

James L. Throne "Technology of THERMOFORMING". Hanser Publishers, 1996

KULSHRESHTHA, Anand K. Handbook of polymer blends and composites. iSmithers Rapra Publishing, 2002. 218 p

KULSHRESHTHA, Anand K. Handbook of polymer blends and composites. iSmithers Rapra Publishing, 2002. 196 p

LOCTITE WORLDWIDE DESIGN HANDBOOK 1996/97 SPANISH EDITION. Loctite Corporation. 1995.

Lorente, Jerónimo. la radiación solar. [en línea], <http://www.portalfarma.com/profesionales/campanaspf/categorias/documents/maketacion%20material%20formativo%20fotoproteccionfotproc2010.pdf> [citado el 2 de junio de 2014]

Luis Avendaño. "INICIACION A LOS PLASTICOS". Centro Español de Plásticos, 1992

M. Keating. "How to Assure Quality in Plastics". Hanser, 1995

M.A.Ramos & M.R.De María "INGENIERIA DE LOS MATERIALES PLASTICOS"Diaz de Santos., 1988.

Michaeli/Greif/Kaufmann/Vossebürger. "INTRODUCCIÓN A LA TECNOLOGÍA DE LOS PLÁSTICOS". Hanser Editorial, 1992.

Osswald/Menges. "MATERIALS SCIENCE OF POLYMERS FOR ENGINEERS". Hanser Publishers, Munich, 1995.

P.C.Painter & M.M.Coleman. "FUNDAMENTALS OF POLYMER SCIENCES".Technomic Publishing Co., 1994

R.B.Seymour & C.E.Carraher. "Introducción a la QUIMICA DE LOS POLIMEROS". Reverté, 1995

R.J. Crawford. "ROTATIONAL MOULDING OF PLASTICS". RSP,1996.

Revista PLÁSTICOS UNIVERSALES. Revista adherida a la Asociación de Prensa Profesional (APP). Revista de difusión auditada por OJD (Oficina de Justificación de la Difusión).

Ristić, I., Budinski, J., krakovsky, C., nikolić, S. The properties of polyurethane hybrid materials based on castor oil. En: Materials chemistry and physics. 2012. vol. 132, no. 1, p. 74–81

Robert A. Malloy. "PLASTIC PART DESIGN FOR INJECTION MOLDING". Hanser Publishers, 1994.

Shimazaki, Y., Murata, M. Effect of gait on formation of thermal environment inside footwear. En: Applied Ergonomics. 2015. Vol. 49, p. 55–62

W. Michaeli, M. Wegener. "Tecnología de los Composites/Plásticos Reforzados". Hanser, 1989

ANEXO

Anexo A. Absorción de agua

Tabla 9. Prueba absorción de agua

Muestra	Masa (g)	largo	Ancho
1	4.7498	74.40	21.92
2	4.5547	72.46	24.57
3	4.9539	73.94	21.87
4	5.1424	75.15	25.55

Anexo B. Hinchamiento y ataque químico

Tabla 10. Características del material requeridos para el ataque químico

Muestra	SUSTANCIA	Masa (g)	Diametro	Espesor
1	ACPM	0.3066	12.27	2.90
	Gasolina	0.2943	12.42	2.57
	Varsol	0.3112	12.32	2.78
	NaOH	0.3027	12.22	2.96
	NaCl	0.3023	12.16	2.86
	HCl	0.3106	12.43	2.86
2	ACPM	0.4096	12.65	3.47
	Gasolina	0.4141	12.24	3.65
	Varsol	0.3947	12.38	3.32
	NaOH	0.4115	12.52	3.57
	NaCl	0.3954	12.27	3.41
	HCl	0.4221	12.34	3.66
3	ACPM	0.3254	12.3	2.78
	Gasolina	0.3256	12.54	3.01
	Varsol	0.3099	12.44	2.82
	NaOH	0.3233	12.38	2.92
	NaCl	0.3153	12.30	2.66
	HCl	0.3427	12.36	3.09
4	ACPM	0.2921	12.29	3.10
	Gasolina	0.3598	12.69	3.36
	Varsol	0.2931	12.34	2.96
	NaOH	0.3070	12.53	3.13
	NaCl	0.3209	12.15	3.01
	HCl	0.2937	12.47	3.04

Tabla 11. Replica ataque químico

Muestra	SUSTANCIA	Masa (g)	Diametro	Espesor
1	ACPM	0.3196	12.11	2.92
	Gasolina	0.2711	12.35	2.29
	Varsol	0.3412	12.04	2.99
	NaOH	0.2918	12.45	2.46
	NaCl	0.2820	12.23	2.37
	HCl	0.2618	12.28	2.60
2	ACPM	0.4456	12.54	3.80
	Gasolina	0.4135	12.54	3.80
	Varsol	0.4139	12.65	3.70
	NaOH	0.4459	12.45	3.92
	NaCl	0.4355	12.63	3.89
	HCl	0.4485	12.54	3.75
3	ACPM	0.3536	12.11	3.10
	Gasolina	0.3370	12.28	3.09
	Varsol	0.3513	12.41	2.92
	NaOH	0.3418	12.51	2.82
	NaCl	0.3450	12.54	2.87
	HCl	0.3477	12.20	2.96
4	ACPM	0.3122	12.53	2.92
	Gasolina	0.3278	12.47	2.42
	Varsol	0.3192	12.60	2.30
	NaOH	0.3146	12.43	3.60
	NaCl	0.3110	12.56	3.36
	HCl	0.3290	12.56	3.41

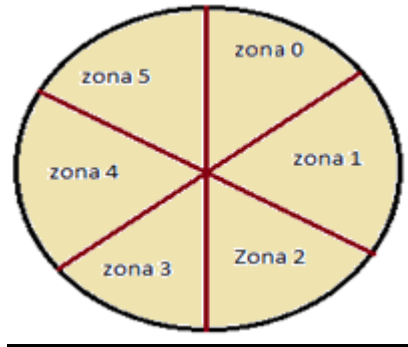
Anexo C. Prueba de dureza

Tabla 12. Dureza shore

MUESTR A	MEDICIO N 1	MEDICIO N 2	MEDICIO N 3	MEDICIO N 4	MEDICION PROMEDI O
1	40	43	43	38	41
2	23	26	27	25	25.25
3	44	45	47	44	45
4	40	42	44	42	42

Anexo D. Pruebas Preliminares de desinfección

Figura 21 Esquema de una caja Petri y sus zonas o franjas



Estudios preliminares nos han demostrado que para una cantidad de 0.1 y 0.2 gramos de TiO₂ en un volumen de 103 ml de poliuretano, bajo una intensidad lumínica de 250 w/m², las u.f.c (unidades formadoras de colonia) son demasiadas, lo que en muchas de las ocasiones hace que el proceso de cuantificación no se pudiese realizar. Razón por la cual se decide estudiar como es el efecto de 0.5 y 0.3 gramos de TiO₂ para el mismo volumen de poliuretano bajo una exposición de 550 w/m², obteniendo los siguientes resultados a los diferentes tiempos establecidos.

Tabla 13. Pruebas preliminares de desinfección

Tiempo (h)	Cantidad de TiO ₂ (g)	U.F.C en la gota 1	U.F.C en la gota 2	U.F.C promedio
5	0	96 * 10 ⁷	108 * 10 ⁷	102 * 10 ⁷
	0.3	95 * 10 ⁷	89 * 10 ⁷	92 * 10 ⁷
	0.5	79 * 10 ⁷	81 * 10 ⁷	80 * 10 ⁷
3	0	130 * 10 ⁷	116 * 10 ⁷	123 * 10 ⁷
	0.3	119 * 10 ⁷	130 * 10 ⁷	125 * 10 ⁷
	0.5	97 * 10 ⁷	110 * 10 ⁷	104 * 10 ⁷
1	0	120 * 10 ⁷	130 * 10 ⁷	125 * 10 ⁷
	0.3	132 * 10 ⁷	125 * 10 ⁷	129 * 10 ⁷
	0.5	102 * 10 ⁷	111 * 10 ⁷	107 * 10 ⁷

Adicionalmente se realizaron pruebas en oscuridad con el objetivo de garantizar que efectivamente se estaba efectuando un crecimiento de E.coli , las muestras que se expusieron a la reacción disponían de un área superficial de 6 cm².

Se hace una réplica de la prueba anterior donde se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 14. Réplica de la prueba preliminar de desinfección

Tiempo (h)	Cantidad de TiO ₂ (g)	U.F.C en la gota 1	U.F.C en la gota 2	U.F.C promedio
5	0 (solo pu)	115 * 10 ⁷	104 * 10 ⁷	110 * 10 ⁷
	0.3	81 * 10 ⁷	86 * 10 ⁷	84* 10 ⁷
	0.5	78 * 10 ⁷	67 * 10 ⁷	73* 10 ⁷
3	0 (solo pu)	120 * 10 ⁷	114 * 10 ⁷	117* 10 ⁷
	0.3	81 * 10 ⁷	86 * 10 ⁷	84* 10 ⁷
	0.5	94 * 10 ⁷	81 * 10 ⁷	88* 10 ⁷
1	0 (solo pu)	170 * 10 ⁷	187 * 10 ⁷	179* 10 ⁷
	0.3	137 * 10 ⁷	158 * 10 ⁷	148* 10 ⁷
	0.5	136 * 10 ⁷	128 * 10 ⁷	132* 10 ⁷

Se observa para los dos casos de estudios hay una baja disminución en el número de unidades formadoras de colonias.

Evidenciada la disminución en la cantidad de bacterias, se realiza una nueva prueba (llamada tiempo de desinfección efectiva) a 550 w/m²:

Tabla 15. Prueba de desinfección previa a la efectiva

Tiempo (h)	Cantidad de TiO ₂ (g)	U.F.C en la gota 1	U.F.C en la gota 2	U.F.C promedio
5	0 (solo pu)	130 * 10 ⁷	144 * 10 ⁷	137 * 10 ⁷
	0.3	96 * 10 ⁷	115 * 10 ⁷	106* 10 ⁷
	0.5	124 * 10 ⁷	108 * 10 ⁷	116* 10 ⁷
3	0 (solo pu)	135 * 10 ⁷	126 * 10 ⁷	131 * 10 ⁷
	0.3	130 * 10 ⁷	141 * 10 ⁷	136* 10 ⁷
	0.5	120 * 10 ⁷	144 * 10 ⁷	132* 10 ⁷
1	0 (solo pu)	141 * 10 ⁷	128 * 10 ⁷	135* 10 ⁷

	0.3	$124 * 10^7$	$137 * 10^7$	$131 * 10^7$
	0.5	$115 * 10^7$	$128 * 10^7$	$122 * 10^7$

Después de 24 horas el material que se expuso a la reacción se usa de nuevo para realizar una segunda siembra, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 16. Resultados prueba de desinfección efectiva

Tiempo (h)	Cantidad de TiO ₂ (g)	U.F.C en la gota 1	U.F.C en la gota 2	U.F.C promedio
5	0 (solo pu)	$119 * 10^7$	$108 * 10^7$	$114 * 10^7$
	0.3	$86 * 10^7$	$74 * 10^7$	$80 * 10^7$
	0.5	$97 * 10^7$	$103 * 10^7$	$100 * 10^7$
3	0 (solo pu)	$139 * 10^7$	$114 * 10^7$	$127 * 10^7$
	0.3	$119 * 10^7$	$134 * 10^7$	$127 * 10^7$
	0.5	$114 * 10^7$	$99 * 10^7$	$107 * 10^7$
1	0 (solo pu)	$185 * 10^7$	$198 * 10^7$	$192 * 10^7$
	0.3	$64 * 10^7$	$78 * 10^7$	$71 * 10^7$
	0.5	$74 * 10^7$	$80 * 10^7$	$77 * 10^7$

Los resultados que se obtuvieron para las muestras de estudio se muestran a continuación:

Tabla 17. Desinfección efectiva a 7 horas

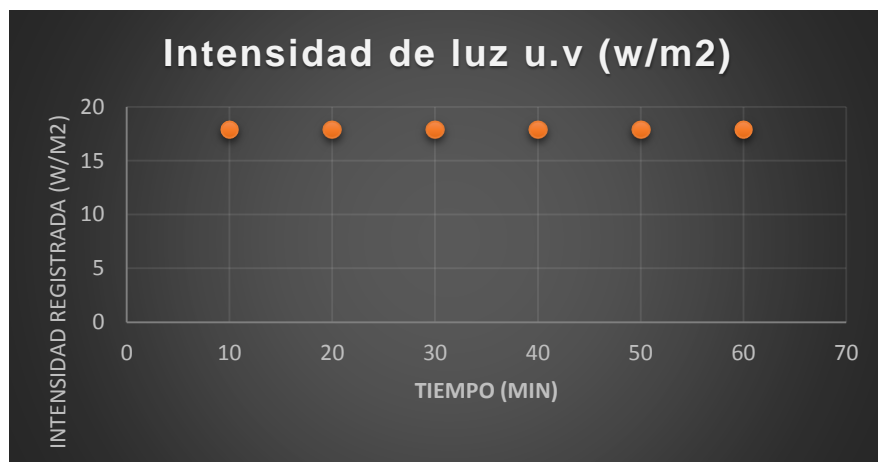
Tiempo (h)	Muestra	U.F.C promedio
1	1	$119 * 10^7$
	2	$120 * 10^7$
	3	$120 * 10^7$
	4	$150 * 10^7$
3	1	$117 * 10^7$
	2	$65 * 10^7$
	3	$81 * 10^7$

	4	$137 * 10^7$
5	1	$106 * 10^7$
	2	$59 * 10^7$
	3	$54 * 10^7$
	4	$135 * 10^7$
Tiempo (h)	Muestra	U.F.C promedio
7	1	$46 * 10^7$
	2	$32 * 10^7$
	3	$47 * 10^7$
	4	$115 * 10^7$

Anexo E. Pruebas en la cámara SUNTEST CPS+

La siguiente prueba muestra cómo se da el proceso de absorción y emisión de luz uv dentro de la cámara de simulación solar suntest cps +, a una intensidad de 250 W/m² durante una hora. Para esta prueba se usó un radiómetro el cual ayuda a registrar la intensidad de luz u.v que se encuentra en el ambiente de estudio.

Figura 22 sensor totalmente descubierto



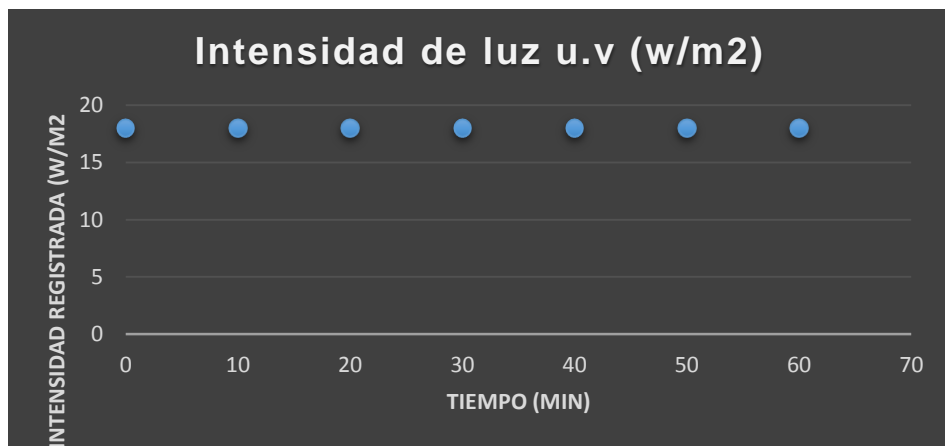
En la gráfica 22 muestra un valor constante de intensidad luz uv de 17.9 w/m², esto corresponde aproximadamente al 7% de la luz visible programada en la cámara.

Figura 23 sensor totalmente cubierto



En la gráfica 23 el sensor del radiómetro fue cubierto con papel aluminio, no registro valor alguno de absorción de luz u.v.

Figura 24. Sensor con parte lateral cubierta



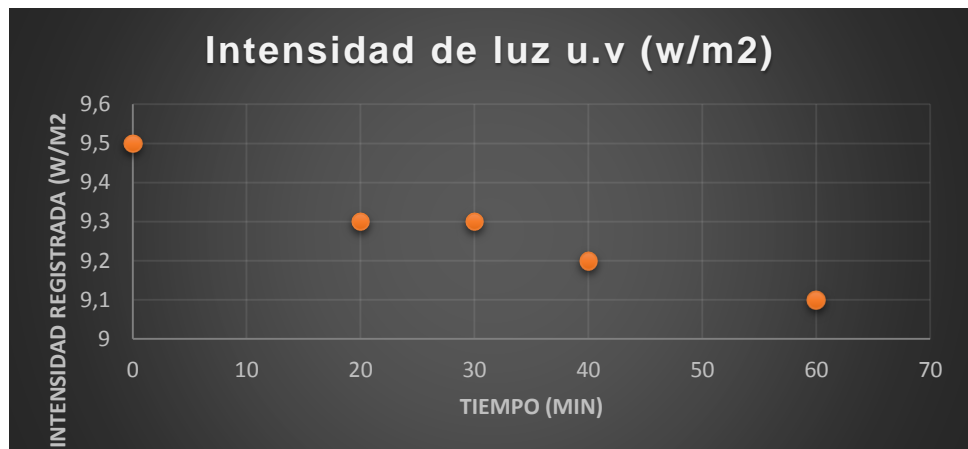
La grafica 24 nos determina que la absorción de luz u.v se efectúa en la parte superior, registrando un valor de 18 w/m2.

Figura 25. Poliuretano base



En la gráfica 25 se registra un valor de 12,6 w/m2 de intensidad de luz uv cuando el sensor se encontraba cubierto en la parte superior con poliuretano base, al comparar esta grafica con la gráfica 1 se puede observar que el material absorbe 5.3 w/m2, el espesor del poliuretano era de 2,84 mm aproximadamente.

Figura 26. Poliuretano con 0.1 g de TiO₂



En la grafica 26 se puede apreciar como la presencia del TiO₂ influye en la absorción de la luz uv dentro del material, las variaciones que se registran indican la activación del fotocatalizador confirmando la desinfección.

Figura 27. Poliuretano con 0.2 g de TiO₂



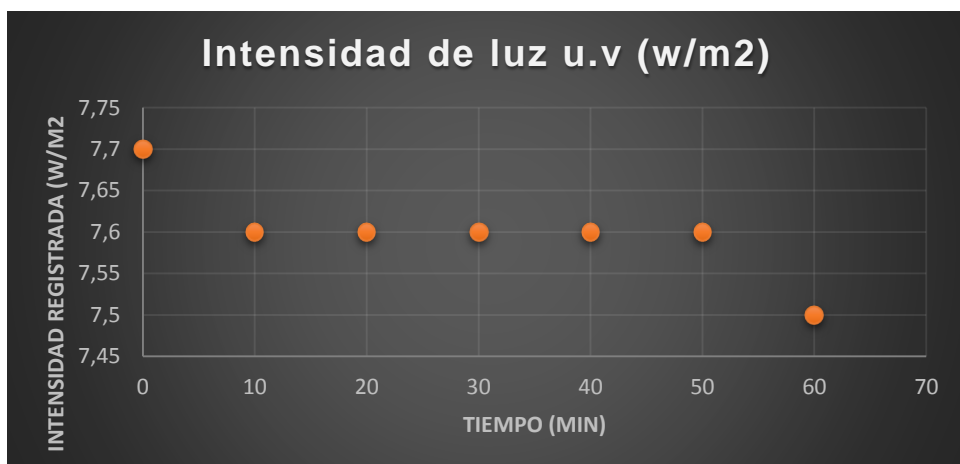
En la gráfica 27 se observa como es la relación entre reafirma el posible efecto pantalla que ejerce el TiO₂ sobre la difusión de la luz uv en el material y como puede ser el proceso de activación del TiO₂ en función del tiempo.

Figura 28. Poliuretano con 0.3 g de TiO₂



En la gráfica 28 se aprecia que para 0.3 gramos de TiO₂ el sensor nos indica que la luz uv que absorbe el material al final del proceso es de aproximadamente 8.9 w/m².

Figura 29 Poliuretano con 0,5 g de TiO₂



En la gráfica 29 se observa que efectivamente el TiO₂ ejerce una influencia en cuanto a la absorción de radiación electromagnética.

