

## Desarrollo de poliuretanos con propiedades mejoradas

### *Development of polyurethanes with enhanced properties*

- <sup>1</sup> Luis Santiago Carrera Almendáriz  <https://orcid.org/0000-0002-3262-5895>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.  
Facultad de Ciencias  
[luissantiago.carrera@epoch.edu.ec](mailto:luissantiago.carrera@epoch.edu.ec)
- <sup>2</sup> Ana Gabriela Flores Huilcapi  <https://orcid.org/0000-0001-8748-7859>  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.  
Facultad de Recursos Naturales  
[ana.flores@epoch.edu.ec](mailto:ana.flores@epoch.edu.ec)



#### Artículo de Investigación Científica y Tecnológica

Enviado: 14/04/2025

Revisado: 18/05/2025

Aceptado: 26/06/2025

Publicado: 15/07/2025

DOI: <https://doi.org/10.33262/ap.v7i3.628>

#### Cítese:

Carrera Almendáriz, L. S., & Flores Huilcapi, A. G. (2025). Desarrollo de poliuretanos con propiedades mejoradas. *AlfaPublicaciones*, 7(3), 60–76. <https://doi.org/10.33262/ap.v7i3.628>



**ALFA PUBLICACIONES**, es una revista multidisciplinar, **trimestral**, que se publicará en soporte electrónico tiene como **misión** contribuir a la formación de profesionales competentes con visión humanística y crítica que sean capaces de exponer sus resultados investigativos y científicos en la misma medida que se promueva mediante su intervención cambios positivos en la sociedad. <https://alfapublicaciones.com>

La revista es editada por la Editorial Ciencia Digital (Editorial de prestigio registrada en la Cámara Ecuatoriana de Libro con No de Afiliación 663) [www.celibro.org.ec](http://www.celibro.org.ec)

Esta revista está protegida bajo una licencia Creative Commons Attribution Non Commercial No Derivatives 4.0 International. Copia de la licencia: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

**Palabras claves:**

Poliol, isocianato, fluorados, hidrofobicidad, elastómeros

**Keywords:**

Polyol, isocyanate, fluorinated compounds, hydrophobicity, elastomers

**Resumen**

**Introducción:** Esta investigación explora la mejora de las propiedades superficiales de poliuretanos elastoméricos mediante la incorporación de aditivos antiadherentes en masa y superficie. **Objetivos:** El objetivo fue optimizar el procesado del poliuretano de bajas prestaciones y evaluar el efecto de diferentes aditivos fluorados y de sílice funcionalizada sobre su hidrofobicidad y propiedades mecánicas. **Metodología:** Se siguió una metodología experimental cuantitativa, utilizando formulaciones estándar de poliol e isocianato, a las que se incorporaron aditivos tanto en masa como en recubrimiento (coating), y se caracterizaron las muestras mediante ensayos de ángulo de contacto. **Resultados:** Los resultados mostraron que aditivos como F1 y F2 al 1 % en coating y F2 al 1 % en masa incrementan significativamente el ángulo de contacto sin comprometer las propiedades mecánicas. **Conclusiones:** Se concluye que los aditivos de sílice funcionalizada con flúor (NS1 y NS2) son especialmente prometedores, y que esta estrategia es aplicable al desarrollo de poliuretanos antiadherentes de altas prestaciones para aplicaciones industriales. **Área de estudio general:** Química. **Área de estudio específica:** Poliuretanos. **Tipo de estudio:** Artículos originales.

**Abstract**

**Introduction:** This research explores the improvement of the surface properties of elastomeric polyurethanes by incorporating non-stick additives in mass and surface. **Objectives:** The objective was to optimize the processing of low-performance polyurethane and to evaluate the effect of different fluorinated and functionalized silica additives on its hydrophobicity and mechanical properties. **Methodology:** A quantitative experimental methodology was followed, using standard formulations of polyol and isocyanate, to which additives were incorporated both in mass and in coating, and the samples were characterized by contact angle tests. **Results:** The results showed that additives such as F1 and F2 at 1% in coating and F2 at 1% in mass significantly increased the contact angle without compromising mechanical properties. **Conclusions:** It is concluded that fluorine-functionalized silica

---

additives (NS1 and NS2) are especially promising, and that this strategy is applicable to the development of high-performance non-stick polyurethanes for industrial applications. **General area of study:** Chemistry. **Specific study area:** Polyurethanes. **Type of study:** Original articles.

---

## 1. Introducción

Las gomas (Poliuretanos Elastoméricos PU) se usan ampliamente debido a su ligereza, flexibilidad de diseño y capacidad de procesamiento. Sin embargo, estos materiales compuestos exhiben propiedades mecánicas menos atractivas, tales como baja resistencia y bajo módulo en comparación con metales y cerámicas. La adición de partículas de relleno inorgánico de tamaño micrométrico o nanométrico para reforzar los materiales poliméricos ha sido una práctica estándar en la industria de los compuestos durante décadas. En la actualidad se utilizan rellenos funcionales que, además de modificar las propiedades mecánicas y reológicas de las gomas, afectan a otras propiedades como la reactividad química, la biodegradabilidad, el color, las propiedades térmicas, magnéticas o eléctricas. Las propiedades mecánicas y físicas del material compuesto están dominadas principalmente por la naturaleza del relleno, mientras que la matriz polimérica determina las características ambientales del material compuesto. Por lo tanto, las propiedades compuestas se pueden adaptar para que se ajusten a la aplicación deseada a través de la elección adecuada de relleno y resina de matriz (Kim et al., 2011; Akram et al., 2022).

En bibliografía científica se han encontrado algunos ejemplos de la modificación de la energía superficial de materiales mediante adición de cargas y aditivos. Existen principalmente dos factores que ayudan a crear una “superhidrofobicidad” en la superficie: componentes con baja energía superficial, como sustancias que contienen flúor o sílice y estructuras de rugosidad a escala micro y nanométrica. Según Ganesh et al. (2011): preparó un poliuretano en base agua hidrófobo a partir de nano-SiO<sub>2</sub> (nanopartículas de sílice, en adelante SiNPs) y dependiendo del porcentaje de SiNPs añadido se consiguen diferentes grados de hidrofobicidad hasta llegar a la súperhidrofobicidad con un ángulo de contacto mayor de 150°. Las SiNPs se fabrican por el método Stöber utilizando TEOS (tetraetoxisilano) como precursor y modificado con TMES (trimetiletosisilano) (Wu et al., 2019).

Las SiNPs son buenas candidatas para ser utilizadas durante este proyecto debido a su gran área específica, pequeño tamaño de partícula, estabilidad térmica y su

disponibilidad comercial. Además, la incorporación de SiNPs en películas de polímero es también conocida para potenciar las propiedades mecánicas de la película y para reducir su degradación térmica a alta temperatura, mejorando también sus propiedades de aislamiento, y aumentando las propiedades de barrera a los disolventes y productos volátiles (Guerrero-Vacas et al., 2023). También es común que las nanopartículas se recubran con moléculas de cadena larga fluoradas, dotándolas de este modo de una superficie hidrofóbica (Diao et al., 2024). Para algunas aplicaciones se ha desarrollado un efecto surfactante adsorbiendo moléculas anfifílicas con segmentos hidrofóbicos e hidrofílicos (Lieberman et al., 2014).

Además, se han creado recubrimientos de Poliuretano (PU) superhidrófobo de SiO<sub>2</sub>NPs diseñado bajo el proceso de sol-gel basado en la reacción entre los grupos GPTS (3-Glicidoxipropiltrimetoxisilano) activados en la superficie de FAS-SiO<sub>2</sub>NPs, monómeros de polioliol, octalamina e isocianato. Este nuevo recubrimiento superhidrofóbico exhibe una buena dureza y repele el agua con ángulos de contacto (CA) de 159° (Zhang et al., 2022). La fácil fabricación del revestimiento de PU-SiO<sub>2</sub> con hidrofobicidad y durabilidad mejoradas proporciona una nueva vía para el desarrollo de superficies superhidrofóbicas de alto rendimiento (Huang et al., 2024). Las propiedades sobresalientes del recubrimiento de PU-SiO<sub>2</sub> sintetizado se deben principalmente a la reducción de la energía superficial por los fluoroalquilsilanos, la formación de estructuras de rugosidad jerárquica a escala micro y nanométrica en la superficie del recubrimiento y la adhesión estable de SiO<sub>2</sub>NPs en resina de poliuretanos después de la reticulación con isocianato (Yousefi et al., 2018; Rodríguez-Alabanda et al., 2019).

Existen técnicas novedosas que mediante un proceso simple combinado con plantillas de papel de lija y adornos de nanosílice a la superficie de Poliuretano Termoestable (TSU) genera estructuras micro y nano altamente hidrófobas. Usando papeles de lija con tamaños de grano que variaban de 240 a 700 granos para obtener una rugosidad de microescala en una superficie del TSU hidrófila intrínseca (Li et al., 2022). Se encontró que el mayor ángulo de contacto de la superficie del TSU sin nanopartículas a  $102 \pm 3^\circ$  se obtuvo cuando la plantilla era papel de lija de grano 240 y el progreso del moldeado comenzó después de 45 minutos de curado del TSU. Las nanopartículas de sílice modificadas con polidimetilsiloxano se dispersaron sobre las superficies tanto del polímero como de la plantilla para construir las nanoestructuras deseables (Yang et al., 2018).

Existen formulaciones comerciales con recubrimiento de fluoropolímero basadas en Politetrafluoroetileno (PTFE) y Perfluoroalcoialcanos (PFA) que proporcionan superficies de baja energía en sustratos metálicos. Las porosidades presentes en las

superficies de PTFE permiten la penetración de la resina y después del curado se adhieren mediante enclavamiento mecánico (Sánchez-Urbano et al., 2018).

En la revisión de bibliografía se cita que la aplicación de cargas a la formulación del elastómero confiere mejora en sus propiedades mecánicas. Los Nanocristales de Celulosa (CNC) producidos a partir de materias primas celulósicas renovables se han utilizado en el refuerzo de polímeros, lo que ha dado como resultado mejoras significativas en las propiedades mecánicas (Naranjo et al., 2020). La adición de un 0,5% de CNC en peso a la resina de Poliuretano (PU) produce un aumento en la resistencia a la tracción, el módulo de Young, el alargamiento a la rotura y la resistencia a la abrasión de aproximadamente un 30%, 55%, 70% y 40%, respectivamente (Kong et al., 2018). Por otra parte, el empleo de calcita ( $\text{CaCO}_3$ ) y dolomita  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  de 6nm al 35% mejora la resistencia a la tracción y alargamiento a la rotura más que los rellenos de las mismas moléculas a micro y macroescala en materiales flexibles de espuma de poliuretano (Larrea et al., 2020).

El adhesivo de Poliuretano a Base de Agua (WPU) modificado con nano- $\text{SiO}_2$  en el rango de 2,0% a 2,5%, mostró que la concentración de nano- $\text{SiO}_2$  tuvo un impacto significativo en estas propiedades como rendimiento mecánico y resistencia al agua (Jia-Hu et al., 2015), además el poliuretano elastomérico con carga de negro de carbón ISAF del 10 % presenta una resistencia a la tensión de 2,010 MPA y al adicionar un 8% más en peso de negro de carbón se tiene una resistencia a la tensión de 2,746 MPa (Benli et al., 1998).

## 2. Metodología

Esta investigación plantea que la modificación de poliuretanos elastoméricos mediante la incorporación de aditivos antiadherentes en masa y superficie mejora sus propiedades superficiales sin comprometer significativamente sus propiedades mecánicas. El Poliuretano Elastoméricos (PU) de bajas prestaciones utilizado corresponde a un sistema bicomponente. El componente A es un poliol conformado por una mezcla de polioles que contienen catalizadores, agentes reticulantes y tensoactivos. El componente B es un isocianato constituido por Difenilmetanodiisocianato Modificado (MDI). La relación de mezcla A/B es de 100/65 en peso. Las características físico-mecánicas de este sistema PU se presentan en la **Tabla 1**. Este tipo de poliuretano se emplea debido a que permite realizar pruebas de optimización del procesado y ensayos con aditivos antiadherentes sin requerir altas temperaturas ni condiciones de vacío para desgasificar el poliol.

**Tabla 1**
*Poliuretano elastomérico de bajas prestaciones*

Características	Unidades	PU bajas prestaciones
Tiempo de gel	min	4 ± 1
Densidad	kg / m <sup>3</sup>	1100
Dureza Shore	ShA	95
Resistencia Tracción	kg /cm <sup>2</sup>	150 ± 20
Resistencia Elongación	%	150 ± 50
R. Desgarro	kg /cm	50 ± 10

**Fuente:** Deutsches Institut für Normung (2000). Norma DIN 53505:2000-08

Para el revestimiento o coating de la superficie de los poliuretanos elastoméricos se utiliza una pintura de poliuretano constituida por el componente A: polioliol y el componente B: isocianato. Como disolvente se utiliza acetato de butilo (densidad: 0,88 g/mL). Los aditivos utilizados están constituidos por partículas fluoradas y nanopartículas de sílice funcionalizadas con flúor, como se observa en la **Tabla 2**.

**Tabla 2**
*Aditivos antiadherentes*

Código	Aditivo
F1	Fluorado líquido 1
F2	Fluorado con sílice líquido 2
F3	Fluorado polvo 3
F4	Fluorado polvo 4
NS1	Nano partículas sílice con flúor 1
NS2	Nano partículas sílice con flúor 2

El objetivo principal de esta investigación es desarrollar poliuretanos elastoméricos con propiedades mejoradas mediante la incorporación de aditivos antiadherentes en masa y coating. Los objetivos específicos incluyen: optimizar las condiciones de procesamiento del sistema PU de bajas prestaciones; evaluar la dispersión y eficacia de diferentes aditivos fluorados y a base de sílice funcionalizada; y analizar el efecto del recubrimiento superficial sobre las propiedades mecánicas y de adhesión del material.

La investigación se plantea bajo un enfoque cuantitativo y experimental, con el propósito de validar la hipótesis formulada. Se elaboran muestras de PU a partir de una

formulación estándar bicomponente, a las cuales se aplica un recubrimiento superficial con aditivos seleccionados y en masa. Posteriormente, se realizan ensayos para la caracterización superficial (hidrofobicidad). Finalmente, se lleva a cabo un análisis comparativo entre las muestras sin modificar y aquellas tratadas con aditivos, con el fin de determinar el efecto de las modificaciones sobre las propiedades finales del material.

### 3. Resultados

En esta sección se detallará el procedimiento seguido para optimizar el procesado del poliuretano de bajas prestaciones, incluyendo las variables de temperatura, tiempo de curado y manipulación. Seguidamente, se analizará el impacto de la incorporación de distintos aditivos, tanto en masa como por recubrimiento superficial, sobre la hidrofobicidad y propiedades mecánicas del material. Se expondrán de forma ordenada las comparaciones entre formulaciones y las repeticiones realizadas para validar la reproducibilidad de los ensayos. Finalmente, se establecerán criterios claros para la selección de condiciones que posteriormente se aplicarán en el desarrollo del poliuretano de altas prestaciones.

#### 3.1. Pruebas de procesado de poliuretano

El procesado del poliuretano de bajas prestaciones al requerir bajas temperaturas y no necesitar vacío para desgasificar el polirol, lo hace manejable, permitiendo ensayar con diferentes temperaturas y tiempos de curación, como se observa en la **Tabla 3**. Las condiciones que determinen el mejor curado de la probeta se replicarán para el procesado del poliuretano de altas prestaciones. El tiempo probado de gelificación o manipulación para la preparación del poliuretano de bajas prestaciones se tiene en 2min 56 s.

**Tabla 3**

*Pruebas de procesado de poliuretano elastomérico de bajas prestaciones*

Prueba	Tiempo trabajo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo curado (min)	Observaciones
1	2'38	30	10	Consistencia blanda y pegajosa
2	2'33	30	15	Consistencia blanda y pegajosa
3	2'33	30	20	Consistencia blanda
4	2'54	40	10	Superficie pegajosa y con burbujas
5	2'48	40	15	Burbujas en superficie
6	2'51	40	20	Burbujas en superficie

**Tabla 3**

*Pruebas de procesado de poliuretano elastomérico de bajas prestaciones  
 (continuación)*

Prueba	Tiempo trabajo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo curado (min)	Observaciones
7	2'40	50	10	Superficie pegajosa
8	2'32	50	15	Bordes pegajosos y burbujas en superficie
9	2'41	50	20	Curado completo
10	2'52	50	30	Degradación de poliuretano. Pegaduras y cuarteaduras

El análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de curado del poliuretano revela cómo las variables de tiempo de trabajo, temperatura y tiempo de curado influyen significativamente en las propiedades físicas finales del material como se observan en la **Figura 1** y **Figura 2**.

**Figura 1**

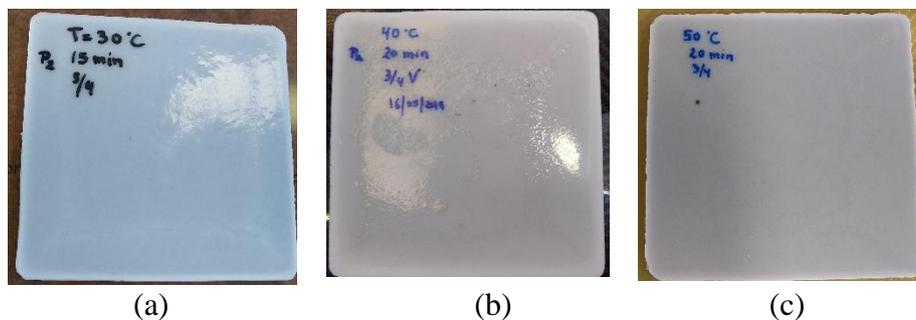
*Pruebas de procesado de poliuretano elastomérico de bajas prestaciones*



La **Tabla 3** muestra que a 30 °C el curado es insuficiente, manteniéndose la muestra blanda y pegajosa. A 40 °C mejora la reticulación, pero persisten burbujas en la superficie. A 50 °C con 20 minutos de curado se logra un poliuretano completamente curado, sin defectos. Superar este tiempo a dicha temperatura genera degradación del material. El tiempo de trabajo se mantiene constante y no depende significativamente de la temperatura.

**Figura 2**

*Probetas obtenidas a 30°C (a), 40°C (b) y 50 °C (c)*



### 3.2. Pruebas de incorporación de aditivos en masa

En esta fase del proyecto se ha llevado a cabo la evaluación de los diferentes aditivos antiadherentes incorporándolos en la formulación en masa del polioli e isocianato de modo comparativo, de tal manera que los resultados son contrastados con una muestra de poliuretano blanco.

**Tabla 4**

*Incorporación de aditivos anti-adherentes en polioli de poliuretano de bajas prestaciones y evaluación del ángulo de contacto*

Aditivo	Prueba (%)	Ángulo de contacto (°)	
-	blanco	105	105,3
	1	102,9	103,5
F1	5	95,6	97
	10	96	95
	1	112	110
F2	5	97	97
	10	112	110
F3	5	103,5	103,9
F4	15	-	-

Como se observa en la **Tabla 4** la adición del 10 % de los aditivos fluorados líquidos F1, F2 y 5 % del aditivo F3 al polioli afectan las propiedades mecánicas del poliuretano obtenido, mostrándose quebradizo y con pegaduras en el molde, sin embargo, las adiciones de 1% y 5% conservan sus propiedades. El aditivo fluorado con micropartículas sólidas F4 al incorporarse al polioli desarrolla un polímero espumoso con memoria debido a que el aditivo actúa como agente espumante, de tal manera que no se puede evaluar su ángulo de contacto.

**Tabla 5**

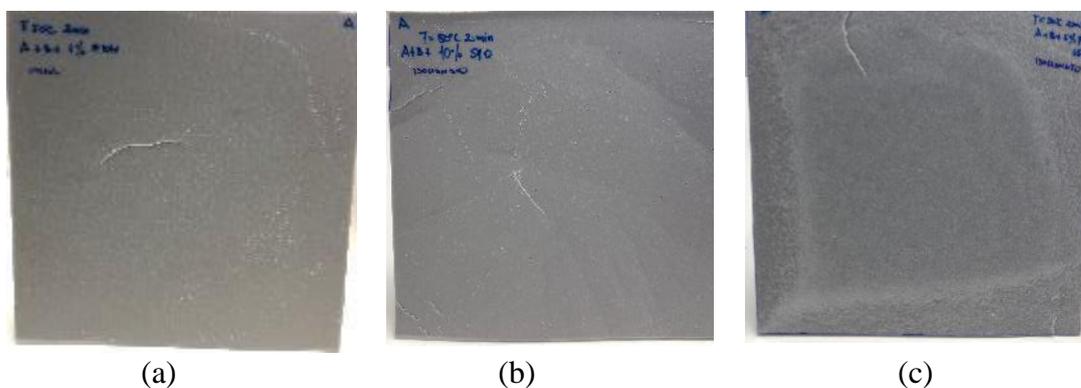
*Incorporación de aditivos antiadherentes en isocianato de poliuretano de bajas prestaciones y evaluación del ángulo de contacto*

Aditivo	Prueba (%)	Ángulo de contacto (°)	
		blanco	
F1		105,0	105,3
	1	105,4	104,5
	5	100,1	98,5
	10	96,0	97,1
F2	1	112,3	113,5
	5	101,4	102,0
	10	103,8	104,3
F3	5	103,1	102,8

La adición de aditivos en isocianatos no es usual debido a la alta reactividad que derivan en la disminución de enlaces uretanos que pueden modificar propiedades mecánicas y viscosidad como se observa en la **Figura 3**. Sin embargo, sólo se observa afectación en las propiedades mecánicas cuando se adiciona 10 % de los aditivos fluorados líquido F1, F2 y 5% de F3 del poliuretano obtenido, mostrándose quebradizo y con pegaduras en el molde (ver **Figura 3**). La incorporación de 1% del aditivo fluorado líquido F2 tanto en el polioliol como en isocianato incrementa el ángulo de contacto de 105° a 112°, siendo el aditivo F2 el que mejores resultados obtiene según la **Tabla 5**.

**Figura 3**

*Degradación de estructura de poliuretano incorporando en masa 10 % de los aditivos F1(a) y F2(b); 5% de F3 (c)*



### 3.3. Pruebas de incorporación de aditivos en superficie

En esta fase del proyecto se ha llevado a cabo la evaluación de los diferentes aditivos antiadherentes incorporándolos en la pintura de base poliuretano que servirá como coating de las superficies del poliuretano de bajas prestaciones, de tal manera que los resultados son contrastados con una muestra revestida con la pintura de poliuretano sin aditivos.

**Tabla 6**

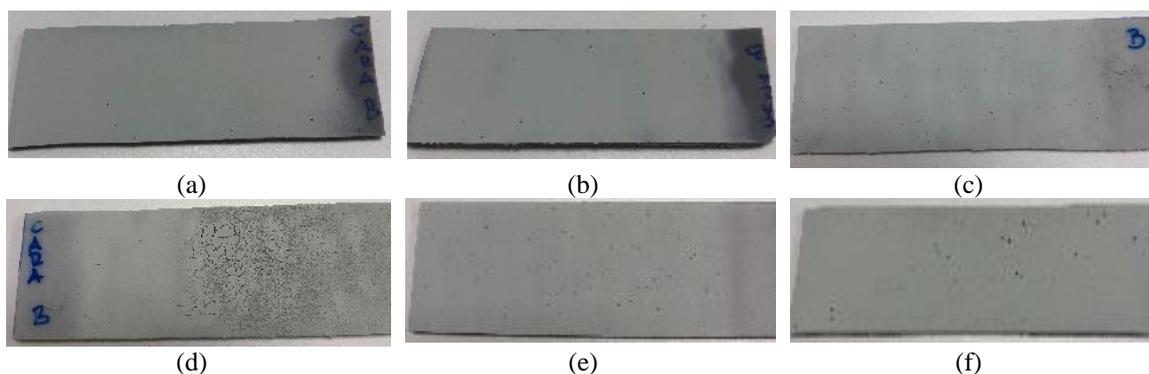
*Incorporación de aditivos antiadherentes en coating sobre poliuretanos elastomérico de bajas prestaciones y evaluación del ángulo de contacto.*

Aditivo	Prueba (%)	Ángulo de contacto (°)	
	blanco	101,8	100,6
F1	0,5	117,3	117,9
	1	120,7	119,1
	3	76,8	78,7
	5	69,4	73,4
F2	0,5	114,8	120,9
	1	118,8	120,4
	3	109,1	107,6
	5	101,8	103,3
F3	4	103,9	103,2
F4	15	145,9	148,6
NS1	2,5	126,5	129,3
NS2	2,5	139,9	137,7

En la **Tabla 6** se observa que el aditivo que resulta en una superficie de mayor hidrofobicidad es F4 al 15 % sin embargo su recubrimiento es rugoso, genera dificultad para su aplicación y a priori no sería válido para obtener las superficies con la calidad requerida en el recubrimiento de piezas como también se observa en la **Figura 4**. Los aditivos al 1 % de F1 y F2 presentan resultados de ángulo de contacto mayores respecto al blanco. Los aditivos NS1 y NS2 presentan mejor adherencia y homogeneidad de la superficie, como se observa en **Figura 4**.

**Figura 4**

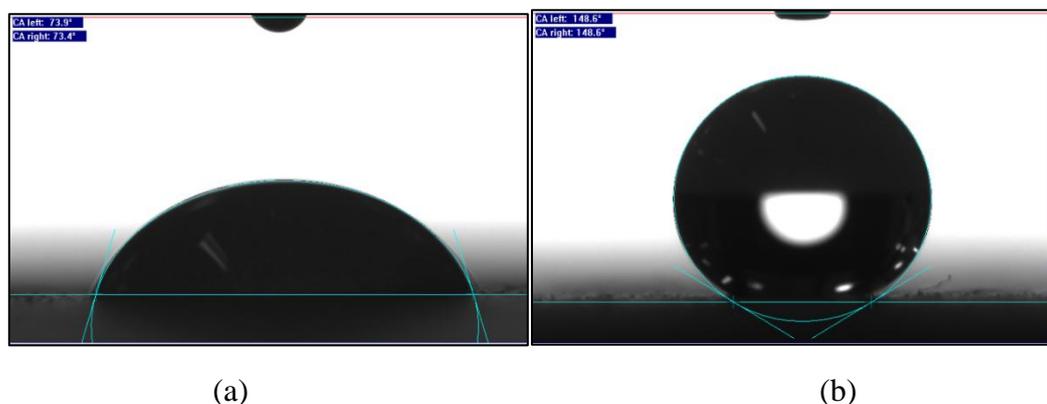
*Coating con aditivos antiadherentes aplicados a poliuretano elastomérico de bajas prestaciones F1 al 1 % (a), F2 al 1 % (b), F3 al 4 % (c), F4 al 15 % (d), NS1 al 2,5 % (e) y NS2 al 2,5 % (f)*



La **Figura 5** muestra una comparación de los ángulos de contacto medidos en superficies tratadas con diferentes aditivos aplicados mediante recubrimiento (coating). En la imagen (a), se observa una superficie hidrófila con un ángulo de contacto de  $73,4^\circ$ , correspondiente a la formulación con un 5 % del aditivo F1. En contraste, la imagen (b) presenta una superficie hidrófoba con un ángulo de contacto significativamente mayor, de  $148,6^\circ$ , obtenido mediante la aplicación del aditivo F4 al 15 %. Esta diferencia evidencia la influencia del tipo y concentración del aditivo en la modificación de la mojabilidad de la superficie del poliuretano.

**Figura 5**

*Comparación ángulos de contacto medidos. (a) Superficie hidrófila:  $73,4^\circ$  por aplicación coating con aditivo F1 al 5% y (b) superficie hidrófoba:  $148,6^\circ$  por aplicación coating con aditivo F4 al 15 %*



### 3.4. Verificación de reproducibilidad

Con la combinación de parámetros de procesado y aditivos que han mostrado mejores resultados, se ha llevado a cabo la repetición de las muestras para asegurarnos la repetibilidad de estos.

**Tabla 7**

*Verificación de reproducibilidad de incorporación del aditivo fluorado F2 en masa y coating en poliuretano de bajas prestaciones y evaluación de ángulos de contacto.*

Aditivo	Tipo de prueba	Adición (%)	Ángulo de contacto (°)	
F2	Coating	0,5	108	109,5
		1	123,5	128,5
		3	108,3	107,2
	En masa de componente A	1	111	110
		5	111	113

Según la **Tabla 7** el 5 % de adición en masa de F2 no resulta similar al mostrado en las pruebas iniciales según **Tabla 6**, seguramente en la primera prueba no se ejecutó correctamente el ensayo, ya que los demás resultados tienen órdenes de magnitud similar (entorno al 110°) según **Tabla 7**. Sin embargo, se justifica que es mejor adicionar 1% de F2 pues se obtienen resultados parecidos que al 5 %, de tal manera que se utiliza menos material y se comprometería menos las propiedades mecánicas del poliuretano elastomérico.

Los aditivos NS1 y NS2 de nano partículas de sílice funcionalizadas con cadenas hidrocarbonadas con flúor presentan ángulos de contacto más elevados. Los resultados de las evaluaciones ángulos de contacto altos obtenidos en coating al 1 % de F1, 1 % de F2, y 5 % de F4 y en masa del 1 % de F2 se probarán en el poliuretano elastomérico de altas prestaciones objeto del proyecto.

El desarrollo experimental ha conseguido optimizar el procesado para la obtención de probetas de poliuretano elastomérico de bajas prestaciones en 50 ° C durante 20 min. Se ha incorporado aditivos fluorados líquidos, partículas de fluoropolímeros y nano partículas de sílice funcionalizadas con flúor en masa y coating en poliuretano elastomérico de bajas prestaciones. Los aditivos fluorados líquidos F1 y F2 aplicados como coating en proporciones de 0,5% y 1% aumentan el ángulo de contacto significativamente. Los aditivos de nanopartículas de sílice funcionalizadas con cadenas hidrocarbonadas con flúor SN1 y SN2 muestran un aumento considerable del ángulo de contacto de la superficie, quedando como una línea de investigación abierta para este

tipo de materiales. La adición del 15 % del aditivo F4 muestra ángulos elevados de contacto, pero presenta falta de adherencia y cuarteaduras en la superficie del poliuretano. El aditivo F2 incorporado en masa en proporciones bajas mejora el ángulo de contacto de la superficie del poliuretano.

#### 4. Conclusiones

- Con base en las publicaciones científicas revisadas y la experiencia a través de este proyecto se recomienda la adición de cargas con partículas y nanopartículas de sílice funcionalizadas con flúor y partículas de fluoropolímeros como aplicación de recubrimientos, denominados *coatings*, en la capa superficial del poliuretano. Las nanopartículas de sílice de diferente tamaño funcionalizadas con cadenas hidrocarbonadas fluoradas presentan una línea amplia de investigación para la fabricación de materiales antiadherentes a ser estudiados. Los resultados planteados pueden ser escalables en la aplicación de poliuretanos antiadherentes de altas prestaciones utilizados para el revestimiento de moldes a nivel industrial.

#### 5. Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de intereses en relación con el artículo presentado.

#### 6. Declaración de contribución de los autores

Todos autores contribuyeron significativamente en la elaboración del artículo.

#### 7. Costos de financiamiento

La presente investigación fue financiada en su totalidad con fondos propios de los autores.

#### 8. Referencias bibliográficas

Akram, N., Saeed, M., & Usman, M. (2022). Role of macrodiols in the synthesis and thermo-mechanical behavior of anti-tack water borne polyurethane dispersions. *Polymers* 14(3), 572. <https://doi.org/10.3390/polym14030572>

Benli, S., Yilmazer, Ü., Pekel, F., & Özkar, S. (1998). Effect of fillers on thermal and mechanical properties of polyurethane elastomer. *Journal of Applied Polymer Science*, 68(7), 1057–1065.

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/%28SICI%291097-4628%2819980516%2968%3A7%3C1057%3A%3AAID-APP3%3E3.0.CO%3B2-E>

- Diao, S., Zhang, Y., Zhao, C., Wang, M., & Yu, J. (2024). Preparation of waterborne polyurethane with high solid content: the crystallinity control of soft segment and the organosilicon modification. *Polymer Bulletin*, 81(1), 317–333. <https://doi.org/10.1007/s00289-023-04718-4>
- Deutsches Institut für Normung. (2000). *DIN 53505: Testing of rubber – Shore A and Shore D hardness test*. DIN Media. <https://www.dinmedia.de/en/standard/din-53505/24622623>
- Ganesh, V. A., Raut, H. K., Nair, A. S., & Ramakrishna, S. (2011). A review on self-cleaning coatings. *Journal of Materials Chemistry*, 21(41), 16304–16322. <https://doi.org/10.1039/c1jm12523k>
- Guerrero-Vacas, G., Rodríguez-Alabanda, O., Martín-Fernández, F. D., & Martín-Sánchez, M. J. (2023). Performance and durability of non-stick coatings applied to stainless steel: subtractive vs. additive manufacturing. *Materials*, 16(17), 5851. <https://doi.org/10.3390/ma16175851>
- Huang, X., Mo, Y., Wu, W., Ye, M., & Hu, C. (2024). Preparation and Properties of Waterborne Polyurethane/Carbon Nanotube/Graphene/Cellulose Nanofiber Composites. *Processes*, 12(9), 1913. <https://doi.org/10.3390/pr12091913>
- Jia-Hu, G., Yu-Cun, L., Tao, C., Su-Ming, J., Hui, M., Ning, Q., Hua, Z., Tao, Y., & Wei-Ming, H. (2015). Synthesis and properties of a nano-silica modified environmentally friendly polyurethane adhesive. *RSC Advances*, 5(56), 44990–44997. <https://doi.org/10.1039/c5ra01965f>
- Kim, J. K., Pal, K., & Sridhar, V. (2011). Role of different nanoparticles in elastomeric nanocomposites bt- recent advances in elastomeric nanocomposites. Springer Berlin Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-15787-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15787-5_1)
- Kong, X., Wolodko, J., Zhao, L., & Curtis, J. M. (2018). The preparation and characterization of polyurethane reinforced with a low fraction of cellulose nanocrystals. *Progress in Organic Coatings*, 125(8), 207–214. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.08.034>
- Larrea Moreano, A. D., Redrobán Dilon, C. D., & Castillo Medina, A. G. (2020). Priorización del mantenimiento mediante la determinación del número prioritario de riesgo, y el análisis de modos y efectos de fallos de una máquina de inyección de poliuretano de alta presión. *Ciencia Digital*, 4(3), 317-335. <https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i3.1353>
- Li, W., Zhou, Y., Liu, H., Yang, J., & Pei, K. (2022). Improved strength, toughness and electrical properties of rigid polyurethane composites reinforced with Ni-coated

carbon fibers. *Polymer Bulletin*, 79(7), 5235–5245.

<https://doi.org/10.1007/s00289-021-03771-1>

Liberman, A., Mendez, N., Trogler, W. C., & Kummel, A. C. (2014). Synthesis and surface functionalization of silica nanoparticles for nanomedicine. *Surface Science Reports*, 69(2–3), 132–158.

<https://doi.org/10.1016/j.surfrep.2014.07.001>

Naranjo Vargas, E. M., Moyano Arévalo, J. R., Damián Yambay, C. G., & Malán Ortiz, J. P. (2020). Elaboración y análisis de resistencia mecánica de bloque de cemento-poliuretano-polvo de caucho. *Ciencia Digital*, 4(1), 270-291.

<https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1099>

Rodríguez-Alabanda, Ó., Romero, P. E., Soriano, C., Sevilla, L., & Guerrero-Vaca, G. (2019). Study on the main influencing factors in the removal process of non-stick fluoropolymer coatings using Nd:YAG Laser. *Polymers*, 11(1), 123.

<https://doi.org/10.3390/polym11010123>

Sánchez-Urbano, F., Paz-Gómez, G., Rodríguez-Alabanda, Ó., Romero, P. E., Cabrerizo-Vílchez, M., Rodríguez-Valverde, M. Á., & Guerrero-Vaca, G. (2018). Non-Stick coatings in aluminum molds for the production of polyurethane foam. *Coatings*, 8(9), 301.

<https://doi.org/10.3390/coatings8090301>

Wu, G., Liu, D., Chen, J., Liu, G., & Kong, Z. (2019). Preparation and properties of super hydrophobic films from siloxane-modified two-component waterborne polyurethane and hydrophobic nano SiO<sub>2</sub>. *Progress in Organic Coatings*, 127(5), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2018.06.016>

Yang, G., Song, J., & Hou, X. (2018). Fabrication of highly hydrophobic two-component thermosetting polyurethane surfaces with silica nanoparticles. *Applied Surface Science*, 439(5), 772–779.

<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.01.017>

Yousefi, E., Ghadimi, M. R., Amirpoor, S., & Dolati, A. (2018). Preparation of new superhydrophobic and highly oleophobic polyurethane coating with enhanced mechanical durability. *Applied Surface Science*, 454(10), 201–209.

<https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2018.05.125>

Zhang, X., Liu, Z., Wang, X., Xu, X., Wu, Y., & Wu, D. (2022). Comparative study of anti-sticking properties of coatings for tire molds. *Coatings*, 12(11), 1740.

<https://doi.org/10.3390/coatings12111740>

El artículo que se publica es de exclusiva responsabilidad de los autores y no necesariamente reflejan el pensamiento de la **Revista Alfa Publicaciones**.



El artículo queda en propiedad de la revista y, por tanto, su publicación parcial y/o total en otro medio tiene que ser autorizado por el director de la **Revista Alfa Publicaciones**.

