

# DESARROLLO DE SENSORES DE PRESIÓN BASADOS EN POLIMEROS PIEZOELECTRICOS

T. Rodríguez Campos <sup>(1)</sup>, F. Molinari <sup>(2)</sup>, A. Medrano <sup>(1)</sup>, L. Monsalve <sup>(1)</sup>

trodriguez@inti.gob.ar

<sup>(1)</sup> Dto. Nanomateriales Funcionales-DT Micro y Nano Tecnologías-SOAC-GODTel-INTI

<sup>(2)</sup> Dto. Procesos de Transformación Textil-DT Textil y Cuero-SOSS-GOSI-INTI

Palabras Clave: sensores de presión, polímeros piezoeléctricos, electrospinning

## INTRODUCCIÓN

La aplicación de los principios de la Industria 4.0 a las tecnologías de salud dio lugar a lo que hoy en día se conoce como *Healthcare 4.0* (H4.0). Uno de los pilares fundamentales del H4.0 son los sensores biomédicos que permiten conocer en tiempo real el estado de los pacientes ayudando a la toma de decisiones al personal de salud.

Los piezopolímeros son excelentes materiales para la fabricación de sensores y actuadores por su capacidad de convertir energía mecánica en energía eléctrica y viceversa sin necesidad de una fuente externa de alimentación. El PVDF es uno de los piezopolímeros más utilizado y estudiado debido a su alto coeficiente piezoeléctrico y a sus excelentes propiedades mecánicas, químicas y térmicas. Se conocen diferentes estrategias para aumentar la fracción de su polimorfo piezoeléctrico  $\beta$  o  $F(\beta)$  y por consiguiente el desempeño piezoeléctrico del material. Las técnicas más comunes son el estiramiento mecánico, los tratamientos térmicos (*annealing*), la aplicación de campos eléctricos elevados y la incorporación de nanomateriales como nanotubos de carbono (NTC), grafeno y fullerenos. [1]

El electrospinning es una técnica que combina los procesos de estiramiento mecánico y la aplicación de un campo eléctrico elevado. Es una técnica simple, versátil, de bajo costo y con grandes beneficios al momento de fabricar sensores de presión basados en PVDF y otros piezopolímeros.

## OBJETIVOS

Este trabajo se desarrolla en el marco del Doctorado de Calidad e Innovación Industrial (INCALIN) y tiene como objetivos:

- Fabricar mediante la técnica de *electrospinning* sensores de presión basados en polímeros piezoeléctricos.

- Caracterizar las matrices poliméricas y los sensores e identificar los parámetros que conducen a una mejora en el desempeño.
- Evaluar el desempeño de los sensores al incorporar nanocargas basadas en carbono como NTC, grafeno y fullerenos.
- Prototipar y caracterizar un sensor vestible de presión con aplicaciones biomédicas.

## DESARROLLO

### Fabricación de los sensores

Se fabricaron fibras de PVDF mediante *electrospinning* a partir una solución de PVDF al 20 wt% acetona:DMF(3:2)v/v. De igual manera se preparó una solución de PVDF con NTC al 0,01wt%. Las fibras obtenidas se sometieron a una temperatura de 90° por 5horas.

### Análisis de fracción de fase cristalina $\beta$ $F(\beta)$

Se realizó un análisis FTIR para determinar de manera sencilla  $F(\beta)$  según los procedimientos en bibliografía [2]

### Caracterización de los sensores de presión

Se colocaron pesas de masa creciente sobre un soporte de área constante ( $d=1\text{cm}$ ) adherido al sensor. Las cargas generadas por la presión aplicada en el sensor piezoeléctrico fueron adquiridas por un sistema amplificador y la señal de voltaje fue observada en un osciloscopio digital. El esquema del sistema completo de medición puede observarse en la Fig. 1.

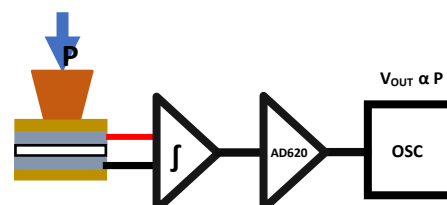
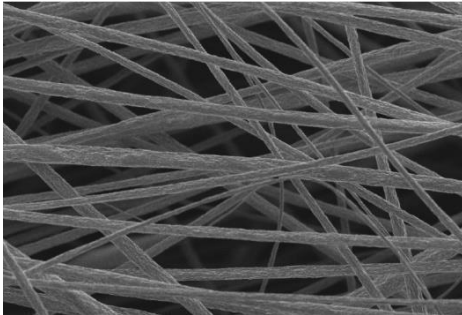


Fig. 1: Esquema del sistema de medición

## RESULTADOS

### Fibras obtenidas por *electrospinning*

Se obtuvo una matriz polimérica de fibras sin defectos y diámetros homogéneos alrededor de los 2 $\mu$ m (Fig. 2).



**Fig.2:** Imágenes SEM de las fibras obtenidas por *electrospinning* a partir de la solución 20PVDF.

Para evaluar el efecto de los NTC en las propiedades piezoeléctricas del PVDF se realizó un film mediante casting con 1mL de solución. El *electrospinning* de la solución con NTC dio como resultado una matriz con fibras no homogéneas, con imperfecciones (*beads*) y restos de DMF por lo que no fueron utilizadas para implementar sensores.

### Análisis F( $\beta$ ) mediante FTIR

Las matrices fabricadas por *electrospinning* tienen un F( $\beta$ ) superior a las fabricadas por *casting* ya que las primeras son sometidas a un elevado campo eléctrico y a un estiramiento propios de la técnica. Las matrices sometidas a annealing a 80°C aumentaron su F( $\beta$ ) en hasta un 7%. Al analizar el film con NTC fabricado mediante *casting* se observó que el F( $\beta$ ) es superior en un 2% que el que no posee NTC comprobándose que la adhesión de estas nanoestructuras mejora las características piezoeléctricas del PVDF.

### Caracterización de los sensores

El sensor presentó una respuesta lineal ( $R^2=0,98$ ) en el rango de 625Pa a 25KPa con una sensibilidad de 30mV/Pa. La medición fue repetida en forma ascendente y descendente comprobándose que el efecto piezoeléctrico es reversible. Además, se repitieron las mediciones en dos días distintos para comprobar la repetibilidad de las mediciones.

## DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Se desarrollaron sensores flexibles capaces de realizar mediciones de presión y un sistema electrónico suficiente para poder visualizar las señales generadas.

Se comprobó que la técnica de *electrospinning* es una técnica sencilla, rápida y efectiva para fabricar matrices poliméricas piezoeléctricas.

La caracterización por FTIR y el sistema amplificador permitieron confirmar que la técnica de *electrospinning* y el tratamiento de annealing a 80°C durante 5 horas favorece a la al aumento de F( $\beta$ ) y mejora el rendimiento piezoeléctrico del polímero.

Se realizó una primera aproximación a la fabricación de sensores de PVDF/NTC mediante *electrospinning* quedando comotrabajo a futuro poner a punto las condiciones de trabajo. Es objetivo del grupo seguir estudiando los beneficios de la incorporación de fullerenos, grafeno y sus combinaciones con NTC con el fin obtener compuestos con mejores propiedades electromecánicas.

Se procurará aumentar la sensibilidad de los sensores para poder realizar mediciones útiles en el ámbito biomédico. Por otro lado, una vez determinados los parámetros óptimos de fabricación el grupo tiene como propósito final prototipar un dispositivo de medición de presión incorporado a textiles por lo que se estudiarán distintas opciones de electrodos textiles, así como el desarrollo de la electrónica y el software apropiado para la adquisición de datos.

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al INTI por el aporte de los fondos y el equipamiento para el desarrollo de este trabajo.

## REFERENCIAS

- [1] M. Smith and S. Kar-Narayan, "Piezoelectric polymers: theory, challenges and opportunities," *Int. Mater. Rev.*, vol. 67, no. 1, pp. 65–88, 2022, doi: 10.1080/09506608.2021.1915935.
- [2] S. Kaur, A. Kumar, A. L. Sharma, and D. P. Singh, "Influence of annealing on dielectric and polarization behavior of PVDF thick films," *J. Mater. Sci. Mater. Electron.*, vol. 28, no. 12, pp. 8391–8396, 2017, doi: 10.1007/s10854-017-6556-8.