

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN DATOS INFORMATIVOS

### TIPO DE CONVOCATORIA

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Interdisciplinario

Fecha de presentación (dd/mm/aa):

Título del proyecto:

Modificación de la conductividad eléctrica de tinta comercial para impresión inkjet utilizando nanotubos de carbono

### TIPOS DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica

Investigación aplicada

#### DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUCIÓN:

1. Departamento de Materiales, Escuela Politécnica Nacional
2. Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información (DETRI), Escuela Politécnica Nacional
3. FEMAN (Grup de Física i Enginyeria de Materials Amorfs i Nanostructures) de la Universitat de Barcelona-España

#### LÍNEA(S) DE INVESTIGACIÓN (verificable en el SAEW):

1. "MATERIALES COMPUESTOS Y NANOESTRUCTURADOS" (Departamento de Materiales)
2. "HARDWARE DE COMUNICACIONES" (DETRI)



<u>Colaboradores Externos</u>				
<b>Apellidos y nombres</b>	<b>No. de identificación</b>	<b>HSS</b>	<b>Institución</b>	<b>Título de mayor nivel y mención.</b>

\* HSS = Horas Semana Semestre

## PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Inter Disciplinario

Investigación Básica

Investigación Aplicada

**DEPARTAMENTO(S) Y/O INSTITUTOS:**

1. Departamento de Materiales
2. Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información

**LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:**

1. Materiales compuestos y nanoestructurados
2. Hardware de Comunicaciones

**DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)**

Ciencias Naturales y Exactas	
Ingeniería y Tecnologías	X
Ciencias Médicas	
Ciencias Agrícolas	
Ciencias Sociales	
Humanidades	

**OBJETIVO SOCIOECONÓMICO (Marque X, solamente una opción)**

Exploración y explotación del medio terrestre	
Ambiente	
Exploración y explotación del espacio	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras	
Energía	
Producción y tecnología industrial	X
Salud	
Agricultura	
Educación	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos	
Defensa	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU)	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes	



<b>1</b>	<b>Proyecto de Investigación</b>
	<b>Título:</b> Modificación de la conductividad eléctrica de tinta comercial para impresión inkjet utilizando nanotubos de carbono
	<b>Resumen del proyecto (máximo 200 palabras)</b>  En este trabajo se estudiará la evolución de la conductividad eléctrica de capas delgadas obtenidas a partir de tinta comercial para impresión inkjet modificada con nanotubos de carbono (NTC). Las capas serán depositadas utilizando una impresora comercial sin modificación alguna. Se imprimirán sobre papel offset varios patrones (circuitos eléctricos) para comprobar la funcionalidad de la tinta modificada. La conductividad eléctrica de las capas se determinará mediante la prueba de cuatro puntas o método Van der Pauw. Los NTC son materiales basados en carbono y actualmente son ampliamente utilizados en áreas como bioingeniería, ciencia de materiales y electrónica.  Se analizará la influencia de los NTC (longitud, diámetro, número de paredes y concentración en peso) en el desempeño eléctrico de la tinta. La medición de la conductividad eléctrica y la caracterización de los NTC se la realizará en colaboración con el grupo FEMAN (Grup de Física i Enginyeria de Materials Amorphs i Nanostructures) de la Universitat de Barcelona-España. Para la caracterización morfológica de los patrones se utilizará un microscopio electrónico de barrido, que permitirá observar la distribución de los NTC en las capas delgadas depositadas.  Palabras clave (4-6): nanotubos de carbono, tinta conductora, impresión inkjet

<b>2</b>	<b>Objetivos, limitaciones, hipótesis y resultados esperados de esta propuesta de investigación</b>
----------	---

## 2.1 Objetivos

### 2.1.1 Objetivo General

- Modificar la conductividad eléctrica de tinta comercial para impresión inkjet utilizando nanotubos de carbono.

### 2.1.2 Objetivos Específicos

- a. Incorporar NTC a la composición de la tinta comercial evitando la aglomeración de las nanoestructuras.
- b. Imprimir patrones utilizando la tinta modificada con NTC.
- c. Estudiar la conductividad eléctrica y la morfología de las capas delgadas obtenidas utilizando impresión inkjet.

## 2.2 Limitaciones (Aspectos que quedan fuera del alcance del Proyecto de Investigación)

- a. La NTC con diferentes propiedades y características serán comprados a un proveedor externo.



- b. El diseño de los patrones (circuitos eléctricos) será básico, se busca comparar su desempeño frente a circuitos similares obtenidos por procesos convencionales.
- c. Los circuitos se imprimirán únicamente sobre papel offset.

### 2.3 Hipótesis (Responden al problema de investigación)

- a. Es posible modificar la conductividad eléctrica de tinta comercial para impresoras inkjet con la incorporación de NTC en la estructura de la misma. El cambio de la conductividad eléctrica se puede cuantificar con el método Van der Pauw.
- b. Las características y propiedades de los NTC influyen fuertemente en el desempeño eléctrico de las capas delgadas obtenidas a partir de la tinta modificada.
- c. Los circuitos eléctricos impresos utilizando la tinta que contiene NTC presentan un rendimiento similar a los fabricados con materiales metálicos.

### 2.3 Detalle de los resultados esperados (con relación a los objetivos)

- a. Tinta conductora con NTC distribuidos uniformemente.
- b. Patrones impresos sobre papel offset para realizar la prueba de cuatro puntas.
- c. Al menos un artículo remitido a una revista para difundir los resultados del proyecto.
- d. Colaboración científica entre el Departamento de Materiales, Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información de la Escuela Politécnica Nacional y el Departamento de Física Aplicada de la Universitat de Barcelona.

<b>3</b>	<b>Relevancia de la propuesta de investigación y su relación con la(s) líneas de investigación</b>
----------	--

#### Relevancia de la propuesta de investigación

Con la presente propuesta se busca estudiar el efecto que tiene la incorporación de nanotubos de carbono (NTC) en la conductividad eléctrica de la tinta comercial utilizada en impresión inkjet. La tinta que se seleccionará debe ser ampliamente utilizada en impresión sobre papel offset, tanto para uso doméstico e industrial. Antes de introducir los NTC, la composición química de la tinta no será modificada. Luego, al introducir NTC en la tinta se puede cambiar su comportamiento eléctrico. Las propiedades eléctricas, mecánicas y térmicas que presentan los NTC los han vuelto en las últimas dos décadas materiales versátiles y útiles para aplicaciones eléctricas [1,2]. Sus características y propiedades pueden controlarse dependiendo de las aplicaciones en las que se los utilizará. La diversidad en morfología y su funcionalización hacen de los NTC los candidatos idóneos para la producción de tintas conductoras. Además, la producción a gran escala de estas nanoestructuras, permiten adquirirlos a nivel global.

La tinta comercial para impresión inkjet con NTC se transforma en materia prima para la fabricación de capas delgadas conductoras. Las tintas conductoras permiten crear circuitos eléctricos flexibles sobre diferentes sustratos. Por tanto, la utilización de tinta modificada en sistemas comerciales de impresión, como la impresión inkjet, apalanca la investigación desarrollo y fabricación de dispositivos más flexibles y de forma más rápida. Además de obtener circuitos eléctricos funcionales, se debe destacar que se los puede obtener a bajo coste y con relativa facilidad [3].

Para conocer las propiedades de las capas delgadas impresas se pueden utilizar diferentes técnicas. Entre las más conocidas están la microscopía electrónica de barrido (SEM) y la microscopía de fuerza atómica (AFM). También se puede estudiar su composición química y la estructura cristalina de los NTC embebidos en los patrones impresos. Sin embargo, realizar algunas de esas técnicas, requiere el uso de equipos muy costosos. Una técnica que permite conocer la conductividad eléctrica de las capas delgadas es el método de Van der Pauw o también conocido como prueba de cuatro puntas. Esta técnica permite obtener los parámetros físicos de los portadores de carga en especímenes con formas arbitrarias incluyendo la estructura de películas delgadas [4,5]. Este método fue desarrollado en la década de los 50 (del siglo pasado) y aún sigue vigente. A pesar de su relativa sencillez, es efectivo para estudiar la conductividad de capas delgadas de diferentes materiales [6].



#### Relación del proyecto con las líneas de investigación

El proyecto se enmarca en las siguientes líneas de investigación:

1. “Materiales compuestos y nanoestructurados”. del Departamento de Materiales
2. “Hardware de Redes de Datos” del Departamento de Electrónica, Telecomunicaciones y Redes de Información

La propuesta se relaciona directamente con el área de investigación de “Formulación, caracterización y aplicación de materiales avanzados”, ya que estudiará las propiedades de tinta comercial para sistemas de impresión inkjet modificada con NTC. Por otro lado, una de las principales aplicaciones del resultado de esta investigación es su aplicación en el desarrollo y prueba de circuitería para la creación de nuevo hardware de comunicaciones, en especial sensores y accesorios, sobre todo si se considera el apogeo del internet de las cosas (IoT por sus siglas en inglés) que necesita ser de bajo consumo, flexible y de bajo coste [7]. En concreto, la propuesta de este proyecto resulta muy prometedora para el estudio de patrones eléctricos a nivel docente y de investigación en la Escuela Politécnica Nacional, puesto que se podrán imprimir circuitos que de otro modo serían inviables por costo, tiempo y/o recursos para fabricarlos.

Es importante mencionar que este proyecto permitirá entablar una colaboración entre dos departamentos de la Escuela Politécnica Nacional y un departamento de la Universidad de Barcelona. Ciertamente, el trabajo entre investigadores de los departamentos antes mencionados, beneficiará el intercambio de conocimiento entre las dos instituciones académicas.

#### 4 Productos esperados

Tipo de Producto:	Marcar con una “X”
a. Publicaciones científicas (obligatorio).	x
b. Disertación a la comunidad politécnica	x
c. Trabajo de titulación de acuerdo a lo que establece el Reglamento de Régimen Académico y la Normativa Interna de la EPN;	
d. Aplicación tecnológica construida o implementada	
e. Patente presentada.	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	

#### 5 Descripción, metodología y diseño del proyecto

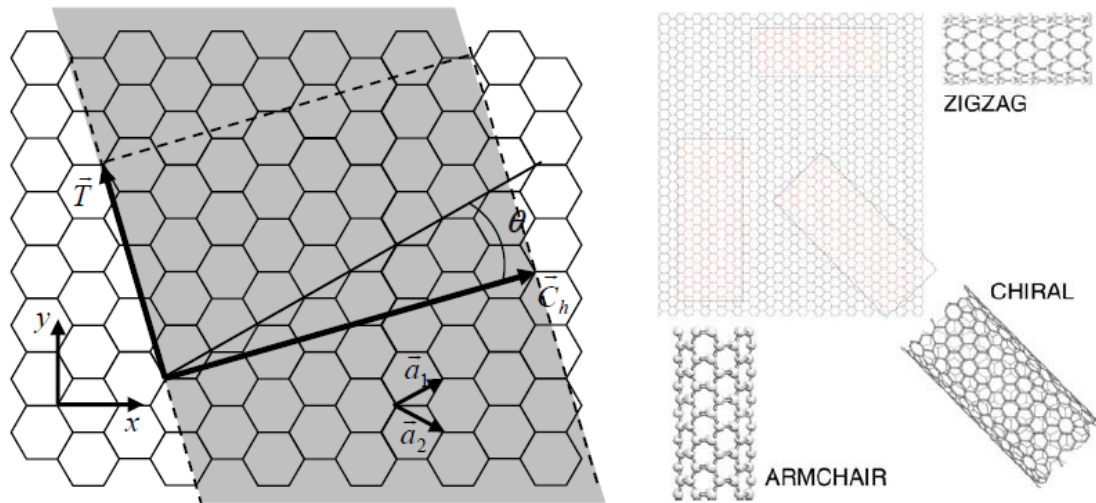
##### 5.1 Descripción, metodología y diseño del proyecto (Máximo dos carillas)

- Descripción del proyecto:

Los circuitos electrónicos, que están constituidos por secciones de capas delgadas conductoras, normalmente han sido fabricados con metales como el oro, plata, aluminio o cobre. Estos materiales han sido utilizados por su disponibilidad, pero sobre todo por su conductividad. Gran parte de estos circuitos son fabricados utilizando técnicas como la evaporación térmica y magnetron sputtering. Estas técnicas requieren de equipos complejos y de condiciones muy bien controladas para obtener resultados óptimos [8].

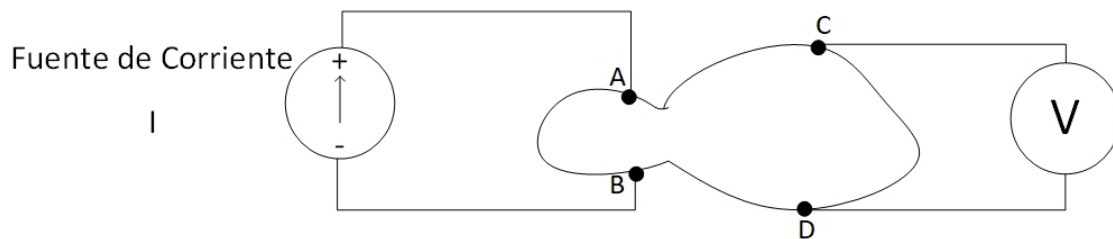
La aparición de materiales basados en carbono, como el grafeno o los nanotubos de carbono (NTC) han abierto la posibilidad de producir circuitos eléctricos con igual o mejor conductividad que los convencionales, pero con la ventaja de que los mismos se pueden depositar sobre sustratos flexibles e inclusive a menor costo [1,3]. Además, existen tintas conductoras con nanopartículas metálicas, aunque suelen presentarse problemas de oxidación. La formulación básica de una tinta para impresión (no conductora) es aglutinante, disolvente(s), aditivos y relleno. El relleno son los pigmentos que confieren el color a la tinta. En el caso de tintas conductoras que utilizan nanocompuestos el pigmento es reemplazado por las nanopartículas metálicas [9].

La incorporación de NTC en tintas comerciales para impresión es un método eficaz para obtener capas delgadas conductoras en condiciones normales. Entiéndase por condiciones normales trabajar a presión atmosférica y a temperatura ambiente. El rendimiento eléctrico de las capas obtenidas depende de la distribución de los NTC. Para ello hay que procurar que en la fase líquida de la tinta las nanoestructuras no se agrupen, hay que evitar la aglomeración de las mismas [10, 11]. También es conocido que la quiralidad de los NTC (Figura 1) y el número de paredes influye en la conductividad general del sistema. Así, los NTC de una sola pared y tipo butaca (armchair) presentan mejor desempeño como materiales conductores eléctricos [12].



**Figura 1** Clasificación de los distintos tipos de los NTC según su quiralidad.

Utilizando el método Van der Pauw se estudiará la evolución de la conductividad de los patrones impresos sobre papel offset. Utilizando NTC de diferente longitud, diámetro y concentración en peso se imprimirán patrones para evaluar la conductividad.



**Figura 2** Ejemplo del Método de Van der Pauw.

El procedimiento para determinar la resistencia es el siguiente:

- Haciendo pasar una corriente entre A y B, se mide la tensión entre C y D, por lo tanto  $R_1 = V_{CD}/I_{AB}$
- Luego se mide la tensión entre A y D, haciendo pasar una corriente entre B y C, en este caso  $R_2 = V_{AD}/I_{BC}$

De acuerdo al método de Van der Pauw, la resistividad  $\rho$  vendrá dada por la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln(2)} \frac{R_1 + R_2}{2}$$

donde  $d$  es el espesor de la capa delgada.



También se hará uso de otra técnica de caracterización: la microscopía electrónica de barrido, que se la realizará en colaboración con el Departamento de Física Aplicada de la Universitat de Barcelona.

- *Metodología y diseño de la investigación*

El proyecto se dividirá en tres fases:

- **Modificación de tinta para impresión inkjet**  
Se utilizará tinta comercial tipo acuosa, que es la más comúnmente usada en sistemas de impresión inkjet. Los nanotubos que se utilizarán son producidos por IoLiTec Ionic Liquids Technologies GmbH. La características y propiedades de los NTC están enlistados en la Tabla 1.

Tipo	Número de paredes	Longitud ( $\mu\text{m}$ )	Diámetro (nm)	Funcionalización
SWCNT	1	5-20	1-2	COOH
SWCNT	1	5-20	1-2	-
SWCNT	1	1-3	1-2	-
MWCNT	>2	50	8-15	COOH
MWCNT	>2	50	8-15	-
MWCNT	>2	1-2	10-20	-

**Tabla 1** Características de los NTC que se utilizarán para funcionalizar la tinta comercial.

Para obtener una correcta distribución de los NTC se utilizará un agitador mecánico que distribuya uniformemente las nanoestructuras en la tinta. Este paso es importante ya que se debe evitar la aglomeración de los NTC para obtener capas delgadas conductoras. Se deben obtener capas con isotropía eléctrica.

- **Impresión de patrones**  
Los patrones serán diseñados utilizando un software de libre distribución como Fritzing, PCBWeb o similar. Los circuitos eléctricos serán básicos y se imprimirán utilizando las mismas condiciones para todas las mezclas que se formulen. Las dimensiones del trazado y la resolución será la misma. Así, al momento de estudiar el desempeño eléctrico de los mismos se podrá apreciar la influencia de variar la morfología y propiedades de los NTC. Todos los patrones serán impresos sobre papel offset.
- **Caracterización de las capas delgadas**  
Utilizando el método Van der Pauw se estudiará la conductividad de los patrones impresos. Como ya se ha explicado antes, para este método no se requiere una forma específica de la capa, sin embargo, los patrones que se imprimirán presentarán un diseño que facilite la ejecución de la prueba. Se realizarán varias medidas sobre las impresiones para poder realizar un análisis estadístico sobre los similitudes o diferencias en los parámetros analizados. El estudio estadístico se llevará a cabo utilizando métodos como MANOVA y test de hipótesis para llegar a conclusiones relevantes para este trabajo.

Para complementar la caracterización se estudiará la morfología de las capas impresas con microscopía electrónica de barrido. Así, se puede observar la distribución de los NTC en los patrones producidos.

## 6 Infraestructura, equipos y fondos adicionales.

### 6.1 Infraestructura y equipos

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio FEMAN	Equipo para método de cuatro puntas (Van der Pauw)	Laboratorio FEMAN, Departamento de Física Aplicada – Universitat de Barcelona
	Impresora Epson XP-332	Laboratorio FEMAN, Departamento de Física Aplicada – Universitat de Barcelona





## 6.2 Breve justificación del equipo requerido

- Para este proyecto no se solicita la adquisición de ningún equipo. El equipo disponible en el Laboratorio FEMAN será utilizado para aplicar el método Van der Pauw y para la impresión de los patrones.

## 6.3 Fondos Adicionales

- NO APLICA

## Bibliografía

- [1] Lian-Mao, P. et al. (2014) Carbon nanotube electronics: recent advances. *Materials Today*. Volume 17, 9, November 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.mattod.2014.07.008> 433
- [2] Qing, C. et al. (2008) Random Networks and Aligned Arrays of Single-Walled Carbon Nanotubes for Electronic Device Applications. *Nano Res* (2008) 1: 259-272. DOI 10.1007/s12274-008-8033-4
- [3] Oh-Sun, K. et al. (2013) Fabrication and characterization of inkjet-printed carbon nanotube electrode patterns on paper. *Carbon* 58 (2013) 116-117, <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbon.2013.02.039>
- [4] Van Der Pauw, L.J. (1958) *A method of measuring specific resistivity and hall effect of disks of arbitrary shape*. Philips Res. Rep. Volume 13, 1-9.
- [5] Ellmer, K. (2012) *Hall effect and conductivity measurements in semiconductor crystals and thin films*, in: E.N. Kaufmann (Ed.), *Characterization of Materials*, John Wiley & Sons, Inc, New Jersey, 564-579.
- [6] González-Díaz, G. et al. (2017). A robust method to determine the contact resistance using the van der Pauw set up. *Measurement* 98 (2017) 151-158, <http://dx.doi.org/10.1016/j.measurement.2016.11.040>
- [7] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660. <http://dx.doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>
- [8] Marques, A. et al. (2013) Printed circuit boards: A review on the perspective of sustainability. *Journal of Environmental Management* 131 (2013) 298-306. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.10.003>
- [9] Sagar, J. (2011) *Evaluation of Silver/Graphite Ink Blend for Use in Printed Electronics* (Master's Thesis). Western Michigan University, Kalamazoo, Estados Unidos.
- [10] Denneulin, A. et al. (2011) Impact of ink formulation on carbon nanotube network organization within inkjet printed conductive films. *Carbon* 49 (2011) 2603-2614. doi:10.1016/j.carbon.2011.02.012
- [11] Hopkins, A. et al. (2011) Influence of surface chemistry on inkjet printed carbon nanotube films. *Thin Solid Films* 520 (2011) 1541-1545. doi:10.1016/j.tsf.2011.10.043
- [12] Saito R., Dresselhaus G., Dresselhaus M. S. (1998). *Physical properties of carbon nanotubes*. Londres, Inglaterra: Imperial College Press.



## DECLARACIÓN FINAL

### TIPO DE PROYECTO

Proyecto Interno  Proyecto Semilla  Proyecto Junior  Proyecto Multi e Interdisciplinario

### TIPO DE INVESTIGACIÓN

Investigación básica  Investigación aplicada

### TÍTULO DEL PROYECTO

Modificación de la conductividad eléctrica de tinta comercial para impresión inkjet utilizando nanotubos de carbono

### DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una obra original de este equipo de investigadores y por tanto, asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.
- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada solicitando el financiamiento total del presupuesto. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que, todos los bienes adquiridos en el proyecto permanecerán bajo la custodia y responsabilidad del director de proyecto.
- Que, aceptamos que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener de derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, estos serán compartidos entre los investigadores y las instituciones participantes en el proyecto.



Firma del Director del Proyecto  
Nombre: Luis Fernando Pantoja Suárez  
C.I.: 0401376652

### DECLARACIÓN DEL JEFE DE DEPARTAMENTO

Esta propuesta ha sido aprobada y avalada por el Consejo del Departamento de Materiales, en sesión del día 11 de octubre del 2017 mediante resolución No 067-2017.

Las instalaciones, incluyendo personal, edificios, equipo y recursos financieros están a disposición del proponente y sus colaboradores de acuerdo con las especificaciones que se encuentran en esta propuesta.



Firma del Jefe del Departamento  
Nombre: Fausto Hernán Oviedo Fierro  
C.I.: 0601001761