

## **Diseño y construcción de sensor de humedad IoT hecho de PVDF para aplicaciones en la industria del cultivo**

Lizabeth Berenice Contreras Cariño, Carlos Omar González Morán

Universidad Autónoma del Estado de México,  
Laboratorio de Investigación de Materiales y Procesos Inteligentes,  
México

lbcc050495@gmail.com

**Resumen.** Este proyecto se realizó con el fin de desarrollar el diseño y construcción de un sistema de adquisición de datos que se ven reflejados en una aplicación móvil con sistema Android, en el cual se observan los niveles de humedad del sustrato de una planta. En este punto el sensor que fue hecho de fluoruro de un material ferroeléctrico PVDF (Polyvinil Difloruro) utilizando la técnica de Electrospinning. Este sensor desarrollado se encuentra en la tierra de la planta y este envía los datos de humedad a la aplicación móvil. El prototipo se implementó sobre una placa de circuito impreso PCB propio para el microcontrolador ATtiny85, que funciona como el ordenador del sistema de adquisición y este a través de un módulo Bluetooth (HC-05) manda del sensor de PVDF los datos de la humedad a la aplicación móvil.

**Palabras clave:** Industria 4.0, Sensor, Humedad, IoT, Microcontrolador, PVDF, ATtiny85, 3D.

### **Design and construction of an IoT Humidity Sensor Made of PVDF for Applications in the Crop Industry**

**Abstract.** This project was carried out in order to develop the design and construction of a data acquisition system that is reflected in a mobile application with an Android system in which the soil moisture levels of a plant are observed. At this point the sensor that was made of polyvinylidene fluoride (PVDF) using the Electrospinning technique. This sensor in the soil of the plant, this sends the soil moisture data to the mobile application. The prototype was implemented on its own PCB printed circuit board for the ATtiny85 microcontroller, which works as the acquisition system computer and this, through a Bluetooth module (HC-05), sends the soil moisture data to the PVDF sensor to the mobile app.

**Keywords:** Industry 4.0, Sensor, Humidity, IoT, Microcontroller, PVDF, ATtiny85, 3D.

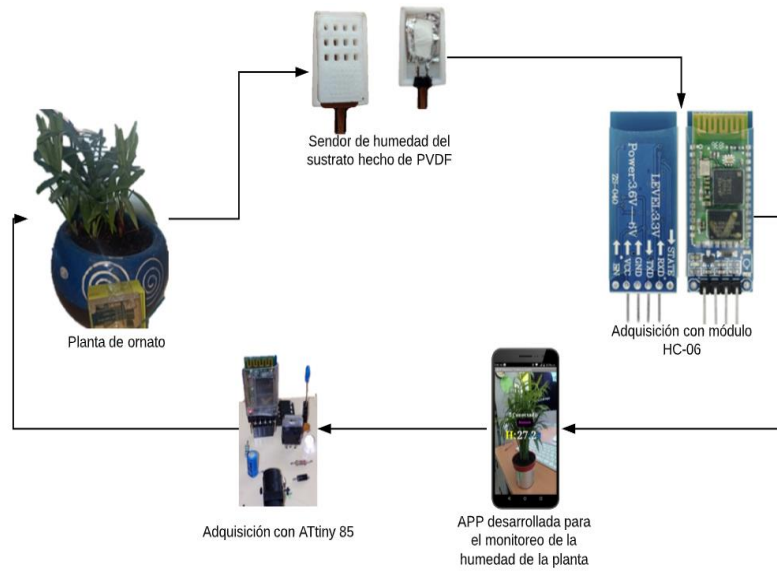
## **1. Introducción**

La tecnología de la Industria 4.0 esta transformando la agricultura ya que las necesidades concretas de nuestro tiempo van cambiando, la agricultura se enfrenta a un gran reto, puesto que aumentará la demanda de producción y también se deberá limitar el impacto al medio ambiente. Hoy en día algunas de las tecnologías más avanzadas están relacionadas con los cultivos para cambiar el modelo productivo. Los sensores actualmente los encontramos en todos lados y están revolucionando las empresas que se dedican a la automatización de invernaderos y/o cultivos, los sensores de humedad complementados con las IoT (Internet de las cosas) buscan el cuidado más eficiente y preciso de los cultivos.

Una de las ventajas de las IoT es que son de hardware libre y están basadas en una placa que contiene un microcontrolador que se puede programar mediante el Software de Arduino IDE, este nos ayuda a hacer una extensión de la electrónica para cualquier proyecto y funciona como un sistema embebido.

Las IoT (Internet de las cosas) están impactando la ciencia, tecnología, medio ambiente, entre otros. Una de sus aplicaciones es la adquisición de datos y la capacidad de guardarlos por medio de sensores para a su vez reflejar resultados en dispositivos que interactúan con el usuario final. Así se desarrollan dispositivos más económicos y compactos en tamaño, gracias a las IoT se puede monitorear o controlar con teléfonos inteligentes. También tenemos como parte de la industria 4.0 los diseños 3D, es una manera de crear formas o imágenes muy parecidas a la realidad con las tres dimensiones (X, Y, Z) del objeto a crear, hacemos que se conjugue el espacio real con los objetos y volúmenes. Hoy en día es posible la simulación 3D mediante cálculos basados en la proyección de entornos tridimensionales sobre pantallas bidimensionales como un simple monitor de una PC, entre otros. Por otro lado, las aplicaciones móviles efectúan cualquier tarea que le sea asignada y generalmente se utilizan para enviar o recibir datos de algún destino, lo cual actualmente ya se considera como una herramienta que fomenta la creatividad, innovación, comunicación que mantienen los dispositivos en vanguardia.

Nuestro prototipo permite al usuario que a través de una interfaz gráfica App, pueda ver el porcentaje de humedad que tiene la tierra que para nuestra prueba usamos como muestra la planta Bambú Palm (*Chamaedorea seifrizii*), tomando en cuenta que este prototipo puede ser empleado invernaderos o espacios de cultivo, una vez que ya se monitorizó la humedad por medio del sensor PVDF se podrá implementar un sistema de riego automático para la planta a través de comandos desde la aplicación móvil de nuestro teléfono, además de que la aplicación contiene una serie de tutorías con respecto a la planta en uso, esto con el objetivo de enseñar a las personas que no tienen conocimientos en el cuidado de las plantas y guiarse de la aplicación móvil para hidratarlas automáticamente con el sistema de riego a través de la comunicación de Bluetooth. Para la elaboración de sensor de humedad recurrimos a la técnica de electrospinning o electro hilado que ha sido ampliamente estudiada durante los últimos años gracias a la posibilidad de crear fibras en escala de micrómetros y nanómetros para una gran variedad de aplicaciones industriales, esta técnica aporta a los elementos desarrollados diversas características como: amplia superficie por unidad de área, porosidad y una serie de propiedades mecánicas, siendo atractiva a nivel



**Fig. 1.** Desarrollo del sistema de adquisición de datos utilizando tecnologías móviles a través de un sensor de humedad hecho de polivinil difluoruro (PVDF).

biotecnológico, la técnica es versátil ensamble lo que ha permitido procesar una gran variedad de polímeros.

La manera en la que se determinará la humedad de la planta con el sensor PVDF es saber el contenido de agua de la tierra de la planta y utilizar los cambios en la constante dieléctrica de la capacitancia que se puede calcular si se conocen la geometría de los conductores y las propiedades dieléctricas del aislante entre los conductores, que para nuestro caso son las paredes de nuestro sensor PVDF.

Por ejemplo, la capacitancia de un capacitor construido con dos placas paralelas ambas de área  $A$  separados por una distancia  $d$  es aproximadamente igual a la siguiente expresión matemática:

$$C = \frac{\epsilon A}{d},$$

dónde:  $C$ = Capacitancia (Sensor PVDF),  $\epsilon$ = Constante dieléctrica (Tierra de la planta),  $d$  (separación de las placas) [9],  $A$ = Área superficial (polímero PVDF).

## 2. Metodología

En este proyecto se diseñó y desarrolló el prototipo de un sistema de adquisición de datos que obtiene el porcentaje de humedad [10] a nivel de la tierra de la planta de ornato a través de una aplicación móvil.



Fig. 2. Máquina de Electrospinning durante el proceso de inyección de la capa de material PVDF.

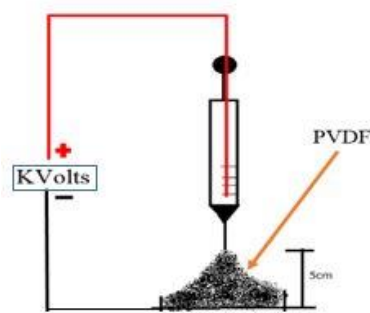


Fig. 3. Chorro eyectado de la concentración de PVDF.

## 2.1. Diseño del prototipo

El sistema de adquisición de datos hace la función de obtener el porcentaje de humedad de la planta de ornato a través del sensor PVDF que manda los datos al microcontrolador ATtiny85 y mediante módulo Bluetooth (HC-06) la información se despliega a una aplicación móvil, como se ve en la Figura 1.

## 2.2. Diseño del sensor PVDF

Se realizó una solución precursora en donde se utilizaron 9 pellets de PVDF para obtener 0.6321(gr) que se disolvieron en 2.4 (gr) de solvente (*N, N* dimetilformamida-DMF) durante 20 minutos aproximadamente para obtener una concentración del 18%, posteriormente este se colocó en un contenedor de jeringa común en la máquina de Electrospinning trabajando a 9.31 kV durante 16 minutos como se muestra en la Figura 2 [9].



**Fig. 4.** Forma sólida de la concentración del PVDF.



**Fig. 5.** Impresora 3D.



**Fig. 6.** Modelo de impresión 3D para sensor PVDF.

El chorro de polímero se hace desde una altura de 5 centímetros de alto y 2.5 centímetros de ancho como se ve en la Figura 3. Creando así una membrana de PVDF de 100 micrometros como se ve en la Figura 4.

Una vez que se obtiene la membrana de PVDF se hace el diseño 3D para recubrir el sensor. El diseño se hace desde la página Tinkercad.com y se obtiene el archivo .stl para así imprimirse en la impresora 3D CREATOR PRO como aparece en la Figura 5 y 6. El sensor PVDF se ensambla con salidas (pines) para su monitoreo como se ve en la Figura 7.

El sensor PVDF de humedad se encuentra emparedado entre dos placas de aluminio, estas placas se conectan a dos pines del microcontrolador como se muestra en la Figura 8.

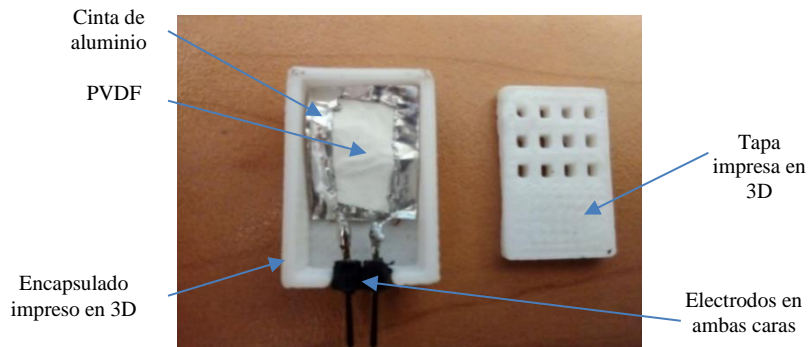


Fig. 7. Sensor de humedad puesto en su carcasa impresa en 3D.

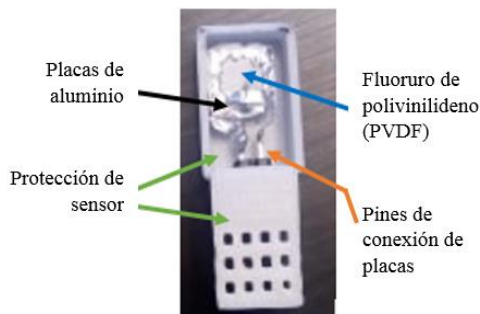


Fig. 8. Estructura del sensor de humedad PVDF con su encapsulado impreso en 3D.

El prototipo de sensor funciona como sensor de humedad de la tierra, con una película de PVDF y el circuito electrónico para controlar la cantidad de agua en la tierra.

### 2.3. Diseño y creación del prototipo

Para este prototipo, el diagrama eléctrico se desarrolló en el software Circuit Wizard así también para el diseño del circuito impreso para el microcontrolador ATtiny85, a este se le conecta el dispositivo PVDF previamente mostrado quedando el diagrama eléctrico completo como se muestra en la Figura 9.

Es importante mencionar que el diseño de la placa fue para sustituir la tecnología de las tarjetas comerciales de Arduino, haciendo un prototipo propio, más compacto, de menor costo y adaptado para el monitoreo de la humedad del sustrato en plantas de ornato o cultivo. Se utilizó un conector JACK de alimentación hembra para una alimentación de 12 volts, un módulo Bluetooth (HC-06) para él envió de datos a la aplicación móvil, un microcontrolador ATtiny85, también se incluyó un regulador de voltaje L7805 para que no existan variaciones de alimentación al circuito, de esta manera se diseñó el circuito que se muestra en la Figura 10 y la Figura 11.

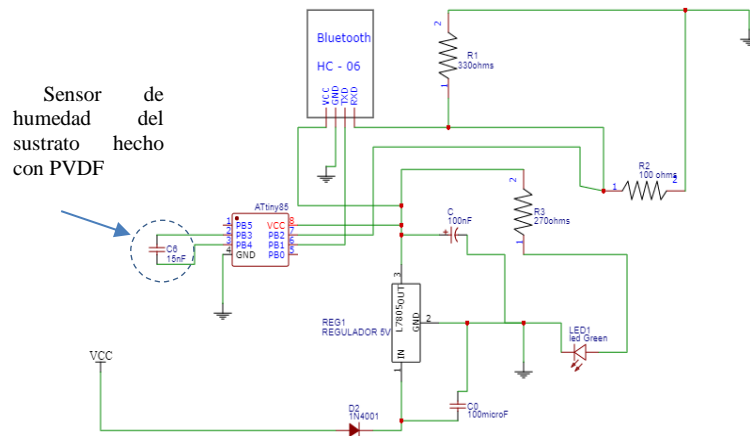


Fig. 9. Diagrama eléctrico del microcontrolador ATTiny85 con Bluetooth.

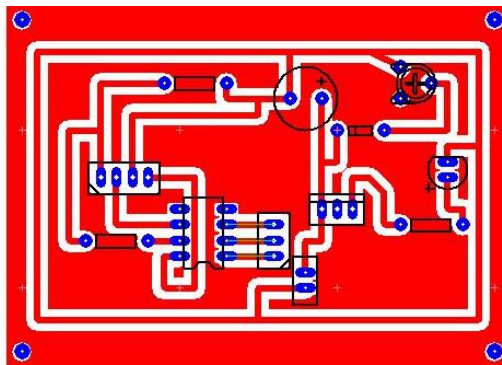


Fig. 10. Diagrama eléctrico del circuito del sistema de adquisición de datos.



Fig. 11. Prototipo físico terminado para la adquisición de la humedad.

**Tabla 1.** Comparativa de los valores de capacitores comerciales medidas entre el microcontrolador Atiny85 y la placa Arduino Uno.

Valor comercial	Arduino UNO(pF)	ATTiny85 (pF)
<b>Capacitancia=60</b>	62	42
	61	43
	61.7	42.5
<b>Capacitancia=2</b>	2	3.3
	2.3	3
	2.8	2.9
<b>Capacitancia=10</b>	10	8.4
	11	8.2
	10.5	8.3
<b>Capacitancia=100</b>	97	67.9
	96	67
	96.5	67.3
<b>Capacitancia=19</b>	19	14.2
	19	14
	18.7	14.4
<b>Capacitancia=7</b>	7	6.5
	6	6.3
	6.5	6.6

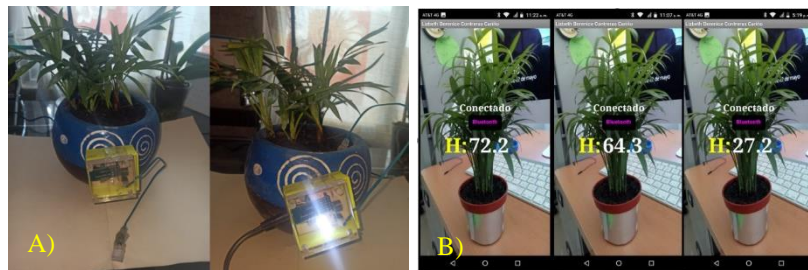
### 3. Pruebas

Se hicieron las pruebas al prototipo para saber qué valores se obtenían al medir la capacitancia de capacitores comerciales, al hacer las pertinentes comparaciones logramos obtener los siguientes datos como se muestran en la Tabla 1.

### 4. Resultados

Los datos de humedad se obtuvieron al conectar el sensor que se encuentra en la planta Bambú Palm y se monitoreo a través de la aplicación móvil durante 4 días como se muestra en la Figura 12. Inciso B). De los datos de la Tabla 3 datos se obtuvo la siguiente gráfica de la Fig.13. A su vez se conectó la aplicación móvil al módulo Bluetooth (HC-06) en donde se obtuvieron los datos de inicio y comienzo de la prueba en donde la aplicación a través de la interfaz gráfica nos muestra algunos de los datos obtenidos como se muestra en la Fig.12. Inciso A). Estos datos se monitorearon durante 4 días a la planta se le agregó una cantidad de 50 ml de agua con una temperatura de 26°C. La distancia que hay entre el sensor y la placa de monitoreo es de 10 cm.





**Fig. 12.** A) Prototipo con ATtiny85 y módulo Bluetooth (HC-06) a una planta de ornato. B) Pantalla de una App de un dispositivo móvil (inicio y término de la prueba).

**Tabla 2.** Los datos obtenidos fueron los siguientes durante los días de monitorización.

ANÁLISIS DE VARIANZA						
Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Muestra	30403.5956	5	6080.719111	40916.98841	2.46E-46	2.620654148
Columnas	739.84	1	739.84	4978.362617	2.40275E-29	4.259677273
Interacción	1116.81333	5	223.3626667	1503.001121	3.9115E-29	2.620654148
Dentro del grupo	3.56666667	24	0.148611111			
Total	32263.8156	35				

Se hizo el análisis factorial “ANOVA”, y se obtuvo que el cálculo que hay entre la varianza F (capacitancia) y el valor crítico para F (Arduino Uno y ATTiny85) son la varianza que existe entre ambas placas. En la Tabla 2 nos muestra que no hay una diferencia por cada medición de capacitancia entre los diferentes valores críticos que son las placas de Arduino Uno y ATTiny85. El resultado de la interacción que se tiene esta dentro de nuestra Distribución F, el cual indica que no tenemos diferencia significativa entre los datos de las mediciones de las capacitancias entre los valores críticos.

Con respecto a los resultados obtenidos en este experimento y en experimentos anteriores [9], se comprueba el comportamiento lineal del sensor PVDF aplicado como sensor de humedad.

## 5. Conclusiones

En general este trabajo representa una forma de medir la humedad de manera inalámbrica utilizando la tecnología Bluetooth y guardando la información en un dispositivo móvil para generar un archivo .csv, el cual nos permite enviar esta información vía internet a un correo electrónico para tener el monitoreo de la humedad de manera remota. Es importante mencionar que como trabajo a futuro se pretende

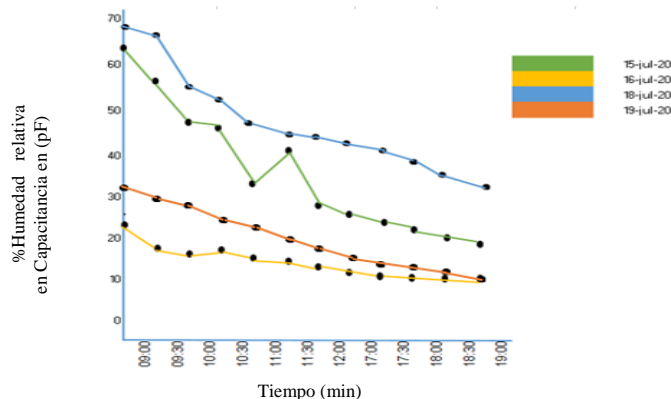


Fig. 13. Grafica de datos del nivel de humedad en base a la capacitancia del sensor PVDF.

Tabla 3. Los datos obtenidos fueron los siguientes durante los días de monitorización.

Riego 1				Riego 2			
Hora	Nivel de humedad	Hora	Nivel de humedad	Hora	Nivel de humedad	Hora	Nivel de humedad
15 de julio del 2020		16 de julio del 2020		18 de julio del 2020		19 de julio del 2020	
9:00	63.5	9:00	25.18	9:00	69.1	9:00	32.89
9:30	57.2	9:30	19.7	9:30	68.3	9:30	29.7
10:00	47.8	10:00	18.6	10:00	56.9	10:00	27.453
10:30	46.5	10:30	19.598	10:30	51.3	10:30	23.14
11:00	31	11:00	18.1	11:00	49.7	11:00	22.7
11:30	44.93	11:30	17.3	11:30	46.9	11:30	20
12:00	29.1	12:00	15	12:00	44.589	12:00	19.36
17:00	26.6	17:00	14.387	17:00	43.6	17:00	17.98
17:30	25	17:30	14	17:30	42.9	17:30	17.1
18:00	24.923	18:00	13.6	18:00	38.753	18:00	16.49
18:30	22.7	18:30	12.99	18:30	37.89	18:30	15.3
19:00	21.9	19:00	12	19:00	35.7	19:00	14.987

hacer un análisis de datos utilizando inteligencia artificial para poder determinar patrones de comportamiento en la tierra para el desarrollo de sistemas de riego agrícola inteligentes, para así poder optimizar el consumo de agua.

### Referencias

1. UNAM: Depafquimunam. [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Capacitores\\_21660.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Capacitores_21660.pdf) (2016).
2. El jardín: Sistema de riego. <http://www.eljardin.ws/riego/historia-del-riego.html> (2015)

3. Core: Piisa. <https://core.ugr.es/sc-piisa/material/micro/sesion1/intro.pdf> (2014)
4. Duque-Sánchez, L.M., Rodríguez, L., López, M.: Electrospinning: la era de las nanofibras. *Rev. Iber. Polímeros*, 14(1), pp. 10–27 (2014)
5. Jera, J.S.: Historia del riego. [www.doh.gov.cl/publicacionesyestudios/Documents/Historia%20del%20Riego.pdf](http://www.doh.gov.cl/publicacionesyestudios/Documents/Historia%20del%20Riego.pdf) (2015)
6. Kouro, S.: Sensores de Humedad. Universidad Técnica Federico Santa María, 25 (2001)
7. Dave, E.: Internet de las cosas cómo la próxima evolución de internet lo cambia todo. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), pp. 2 (2012)
8. Barrio, M.: Internet de las cosas. Ed. Reus S.A., Madrid España, pp. 17–19 (2018)
9. González, O.: System for controlling the moisture of the soil using humidity sensors from a polyvinylidene fluoride fiber mats. EU: American Scientific Publishers (2013)
10. Torres, P.: Identificación de temperatura y humedad en un prototipo deshidratador de pulpa de *Annona Muricata*. Colombia: Ciencia y Poder Aéreo (2015)
11. Seminis: Los principales sistemas de riego. Seminis, Recuperado de: [www.seminis.mx/blog-los-principales-sistemas-de-riego/](http://www.seminis.mx/blog-los-principales-sistemas-de-riego/) (2016)
12. Zarazaga, F.J.: Agricultura 4.0: las tecnologías de la industria 4.0 aplicadas al campo. Grupo de Sistemas de Información Avanzados (IAAA) (2017)
13. Mateos Maza, M.: El diseño 3D. <https://dibujourjc.files.wordpress.com/2015/02/marta-mateos-maza.pdf> (2014)