

Ayudas a PROYECTOS DE INNOVACIÓN Y

MEJORA DOCENTE

2019-2020



**VNiVERSiDAD  
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

**Informe Final**

**Ref. ID2019/090**

## **Proyecto de Innovación Docente**

### **Internet de las cosas: Formación de Estudiantes en Sensores**

<b>Centro de ejecución</b>	Facultad de Ciencias
<b>Departamento y Área de Ejecución</b>	Física Aplicada / Electrónica
<b>Miembros del equipo</b>	Jesús Enrique Velázquez Pérez (IR) María Susana Pérez Santos Ana María Pérez Muñoz

## INTRODUCCIÓN y OBJETIVOS

El "internet de las cosas"-una traducción directa del término en inglés Internet of Things (IoT) - describe la red de objetos físicos, también conocidos como "cosas", que están integrados con sensores, software y otras tecnologías con el fin de conectar e intercambiar datos con otros dispositivos y sistemas a través de Internet. La célula básica de un elemento IoT debe tener, al menos, un elemento de tipo sensor, circuitería de control y capacidad de comunicación integrada en el circuito o sistema. De hecho, cada vez más comúnmente, el elemento IoT permite la intercomunicación mediante una interfaz de tipo software. El aumento del mercado IoT ha sido exponencial en los últimos 10 años debido a la convergencia de múltiples tecnologías: análisis en tiempo real, aprendizaje automático, computación ubicua, sensores de productos básicos y sistemas integrados. Los campos tradicionales de los sistemas integrados, las redes de sensores inalámbricos, los sistemas de control, la automatización (incluida la automatización del hogar y de los edificios), etc. contribuyen a potenciar el Internet de las cosas. En principio, cualquier actividad humana es susceptible de proporcionar un campo de aplicación IoT: desde mejoras para la explotación agropecuaria al mercado de consumo. En el mercado de consumo, la tecnología IoT es sinónimo de productos pertenecientes al concepto de "hogar inteligente", lo que incluye dispositivos y electrodomésticos (como accesorios de iluminación y termostatos, sistemas domésticos de seguridad, ...) que pueden ser controlados a través de teléfonos y altavoces inteligentes.

Se proyecta que el tamaño del mercado global de IoT alcance 1.46 billones de dólares en 2027, con una tasa de crecimiento anual total compuesta del 24.9% desde un volumen de un cuarto de billón de dólares en 2019 (<https://www.fortunebusinessinsights.com/industry-reports/internet-of-things-iot-market-100307>).

Desde un punto de vista académico el interés, más allá de la necesidad de formación de estudiantes en aplicaciones que muchos de ellos van a encontrar y contribuir a desarrollar en su incorporación a la vida profesional, del IoT reside en la posibilidad de usar las mencionadas células básicas como un recurso de bajo costo para el aprendizaje de sensores sin necesidad

de realizar una instrumentación en laboratorio o como complemento a ésta. Este uso es de gran interés porque permite cubrir todos los niveles del encargo docente del área de Electrónica desde asignatura de 1º de Grado hasta Máster modulando el uso de estas nuevas herramientas.

El **objetivo general** del presente PID fue la actualización y extensión de prácticas de laboratorio de las asignaturas relacionadas en la tabla inferior incorporando herramientas IoT

Los objetivos concretos del proyecto fueron:

1. Implementación de circuitos con sensores que puedan ser controlados remotamente mediante software.
2. Generación de contenidos y recursos docentes que se utilizarán en la implantación en el primer cuatrimestre de 2020.
3. Medida de parámetros de varios tipos de sensores.
4. Documentación y notas de aplicación sobre el montaje de los sensores y uso de su software de control que se pondrán en Studium a disposición de los estudiantes.

El proyecto ha permitido generar, como se había propuesto en la memoria, recursos y contenidos para su uso en docencia – especialmente de tipo práctico – de un gran interés para ser aplicado en la docencia práctica de las siguientes asignaturas impartidas por el área de Electrónica:

ASIGNATURAS Y TITULACIONES QUE SE BENEFICIARÁN DEL PROYECTO DE INNOVACIÓN
Instrumentación Electrónica, 2º curso, Grado en Física, Fac. Ciencias
Electrónica de Comunicaciones, 4º curso, Grado en Física, Fac. Ciencias
Sistema Electrónicos Digitales, 4º curso, Grado en Física, Fac. Ciencias
Electrónica y Electrotecnia, 3º curso, Grado en Ingeniería Química, Fac. Ciencias Químicas
Física de Sensores, Máster en Física y Matemáticas, Fac. de Ciencias
Caracterización de materiales y dispositivos, Máster en Física y Matemáticas, Fac. de Ciencias

En alguna de ellas, como señalamos más adelante, los recursos han sido directamente aplicados en el presente curso académico y se implantarán de manera modulada y progresiva en el resto a lo largo de los próximos cursos.

La docencia en sensores es de tipo transversal ya que, como señalamos en la sección anterior, los sensores están presentes en numerosos campos. Limitándonos a la docencia en el área de Electrónica, se hacen prácticas con sensores en numerosas asignaturas (más que las expuestas en la tabla de la sección anterior) aunque la dificultad en la instrumentación limita su inclusión en prácticas a asignaturas en las que los estudiantes poseen un nivel suficiente para hacer el montaje y, aún en ese caso, la escasa disponibilidad de tiempo en laboratorio limita la práctica al montaje y alguna medida de comprobación de funcionamiento del sensor. A modo de ejemplo, en la asignatura “Instrumentación Electrónica” de segundo curso del Grado en Física, con un bajo contenido de teoría, no se puede dedicar mucho tiempo al estudio de sensores. Se dedica una parte de la última sesión de laboratorio en la parte de electrónica analógica al montaje y medida con un sensor de temperatura, aunque se usa un sensor similar en dos prácticas de instrumentación virtual integrado en un cabezal controlado por una DAQ y LabView. La impresión de los estudiantes es que los sensores son un apartado de limitada importancia dado el tiempo que se les dedica en comparación con el dedicado al montaje de amplificadores o filtros y, adicionalmente, que la medida DC de los sensores – obviamente, simple, rápida y de carácter puntual – es de escasa complejidad e interés. Aquellos estudiantes que posteriormente cursan la asignatura de “Física de Sensores” del Máster en Física y Matemáticas (MFyM) perciben de manera muy diferente la importancia de los sensores y su uso en medidas.

Paradójicamente, el análisis de contexto muestra que existe un creciente número de aplicaciones desarrolladas para IoT que incluyen una interfaz de comunicación y control que puede usarse sin emplear tiempo de aprendizaje (como el necesario para desarrollar un instrumento virtual en LabView, es decir, un .vi) y, a la vez, evita la necesidad de realizar un montaje que consume tiempo en laboratorio con un aprendizaje incremental nulo (los estudiantes ya han adquirido competencias en el montaje y medida de otros circuitos).

El presente PID ha demostrado las ventajas de naturaleza sinérgica que pueden extraerse con el uso de células/módulos de IoT para la docencia práctica de sensores que se presentan en las

conclusiones de este informe.

## DESARROLLO DEL PROYECTO y RESULTADOS

Los resultados de los PIDs previamente ejecutados por el grupo responsable del presente proyecto en los últimos 10 años han permitido innovar en la docencia de prácticas del área de Electrónica que han evolucionado desde el esquema tradicional de puesto fijo en banco (entrenador, osciloscopio y generador de funciones) hasta un nuevo paradigma que lo complementa con el empleo de placas PCB, Instrumentación Virtual, diseño CAD e impresión 3D. Este nuevo esquema ha introducido técnicas de simulación, software y hardware actuales dando competencias a los estudiantes relevantes a nivel de investigación y aplicación industrial (LabView, diseño de placas PCB con Ultiboard, simulaciones de circuitos basadas en SPICE con PSPICE y Multisim, ...). En último término se ha empezado a sacar parte de la enseñanza práctica del laboratorio con software que los estudiantes pueden usar en sus PCs o portátiles privados (LabView, Multisim, ...) pero también con elementos hardware que se les prestan durante un tiempo limitado (MyDAQ).

Este alto grado de innovación se ha alcanzado en el presente proyecto mediante **actividades in situ** (medidas e instrumentación de sensores en laboratorio) y **ex situ** mediante el uso por el estudiante del software y contenidos que hemos generado y se ponen a disposición de los estudiantes en Studium. La virtualización de parte de las prácticas permite al estudiante, por un lado, conocer e interactuar con la interfaz del instrumento (kit de evaluación de cada sensor) antes de acceder al laboratorio – es decir, se puede reducir el tiempo de ocupación del laboratorio sin impactar sobre el aprovechamiento académico del estudiante y, de acuerdo con esto, incrementar el número de sensores que se pueden estudiar- y, por otro lado, el estudiante puede dedicar más tiempo al análisis de resultados sin presencia física en el laboratorio. La propuesta que se ha llevado a cabo en el presente PID ha permitido incrementar la motivación del estudiante y sus posibilidades de aprendizaje.

El planteamiento básico que motivó la propuesta del presente proyecto fue el siguiente: mientras los conceptos básicos que se explican en teoría se pueden aplicar a un amplio tipo de

sensores la toma manual de medidas usando el sensor, es decir, el procedimiento que típicamente se sigue en laboratorio es lenta y tediosa limitando el número de sensores que pueden usarse en una sesión de prácticas, adicionalmente, estas tareas de tipo repetitivo (la toma manual de medidas) no aportan muchos conocimientos al estudiante ni contribuyen a su motivación. Aunque en el laboratorio de prácticas se dispone de tarjetas DAQ con LabView, ni LabView no se imparte en todas las titulaciones (por ejemplo, en el Grado en Ingeniería Química) ni el cabezal del puesto puede recibir otros sensores adicionales al integrado. Adicionalmente debe considerarse que el número de puestos DAQ+LabView es solamente de 7 y una DAQ PCI similar a las instaladas tiene un coste superior a los mil euros. Recientemente han aparecido en el mercado sensores incorporados en una placa PCB de bajo coste y reducidas dimensiones que además del sensor incluye la circuitería de acondicionamiento de señal, una conexión USB (opcionalmente también comunicación de tipo WiFi, Zigbee o BlueTooth) y software gratuito de control visualización. En este proyecto nos proponíamos realizar pruebas de factibilidad para su uso en docencia de este tipo de PCBs que en realidad son módulos IoT y que se comercializan como placas de evaluación (Evaluation Board, EB) por varios fabricantes.

Para alcanzar este objetivo general y los concretos del proyecto los miembros del grupo llevaron a cabo las siguientes acciones:

1. Elección y adquisición de los sensores/EBs de desarrollo disponibles comercialmente al menor coste y que incluyan conexión USB, al menos un sensor (luz, temperatura, humedad, ...) e interfaz gráfica.
2. Verificación de la medida ofrecida por la interfaz gráfica: Testeo en el laboratorio, comparación con otros sensores, medidas directas con osciloscopio/multímetro, ...
3. Generación de contenidos y recursos docentes de autoaprendizaje que se han validado en una asignatura en el primer cuatrimestre de 2021.
4. Caracterización de sensores: Medida de parámetros propios de todos los sensores adquiridos.
5. Documentación y notas de aplicación sobre el montaje de los sensores y uso del software de control que se ponen a disposición de los estudiantes en Studium en función de

los contenidos del programa de cada asignatura.

Los recursos disponibles que se emplearán serán:

- Moodle (Studium) para la documentación, acceso a contenidos y recursos generados para los estudiantes.
- Instrumentos de medida de banco (osciloscopio digital de dos canales, multímetro, entrenador, ...) que se usarán para comprobación de resultados.
- DAQs de 14 bits para medidas de alta precisión.

Se han adquirido EBs y material fungible (baterías, conectores, ...). Las EBs disponen de al menos un sensor, con conexión y alimentación por USB con interfaces compatibles con Windows 7 y 10 que permiten al estudiante controlar la medida sin desarrollo adicional cumpliendo los requisitos de la memoria del proyecto: es decir, pueden usarse desde los primeros cursos de Grado hasta el nivel de Máster en función de si el énfasis se pone en la visualización o éste se desplaza hacia la medida y análisis de resultados. De esta manera se garantiza la **transversalidad** al poder ser usado en asignaturas de diferentes titulaciones.



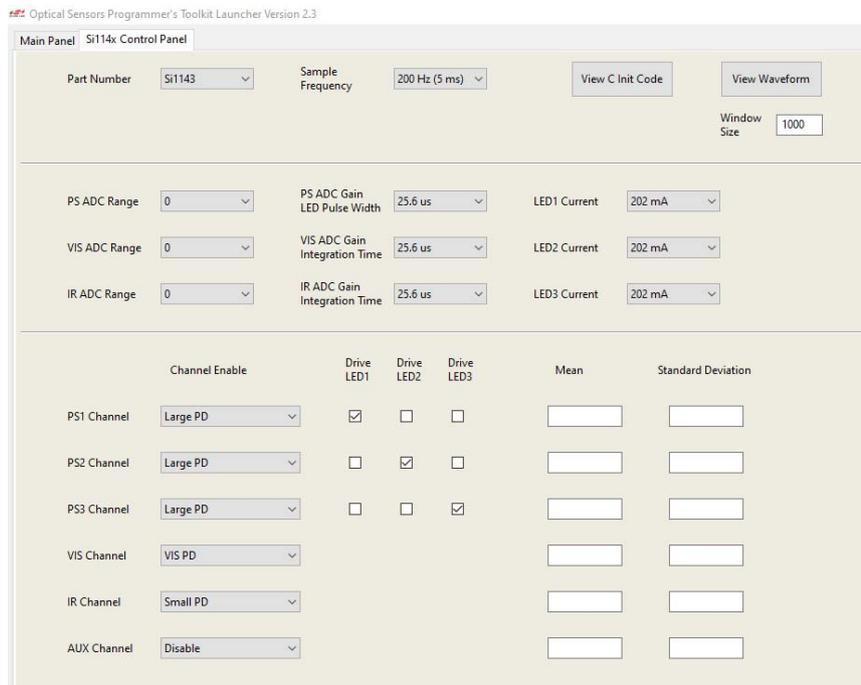
**Figura 1.** Sensor de proximidad/UV/luz ambiente Si1147 de Silicon Labs.



**Figura 2.** Placa PCB de Silicon Labs conectada a un PC.

A modo de ejemplo presentamos la funcionalidad de dos de las EBs adquiridas. Hemos utilizado el sensor óptico de Silicon Labs Si1147-M01-EB (Figura 1) cuya hoja técnica puede consultarse

en (<https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si1145-46-47-M01Rev1.0.pdf>) montado en una placa PCB con conexión USB2.0 (Figura 2). La placa dispone de software de control con un panel de control que se muestra en la Figura 3.



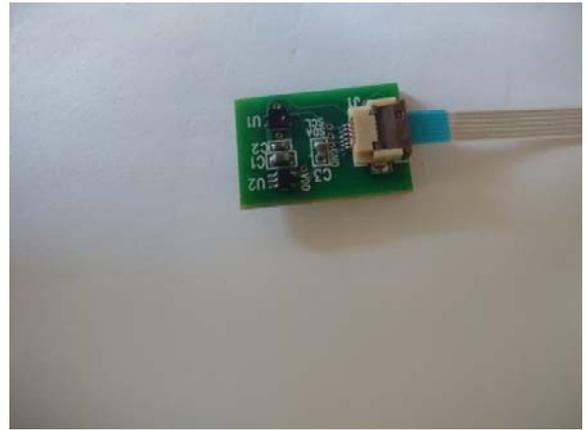
**Figura 3.** Panel de control de la EB.

Las medidas con el sensor Si1147 son la primeras introducidas en el laboratorio de prácticas de electrónica en los rangos ópticos. Sin embargo, como hemos señalado más arriba, se dispone de una amplia experiencia en la medida usando sensores térmicos que, por otra parte, constituyen una gran parte de los contenidos en la asignatura Física de Sensores del MFyM y se han implementado tanto en el Grado en Física como en el Grado de Ingeniería Química.

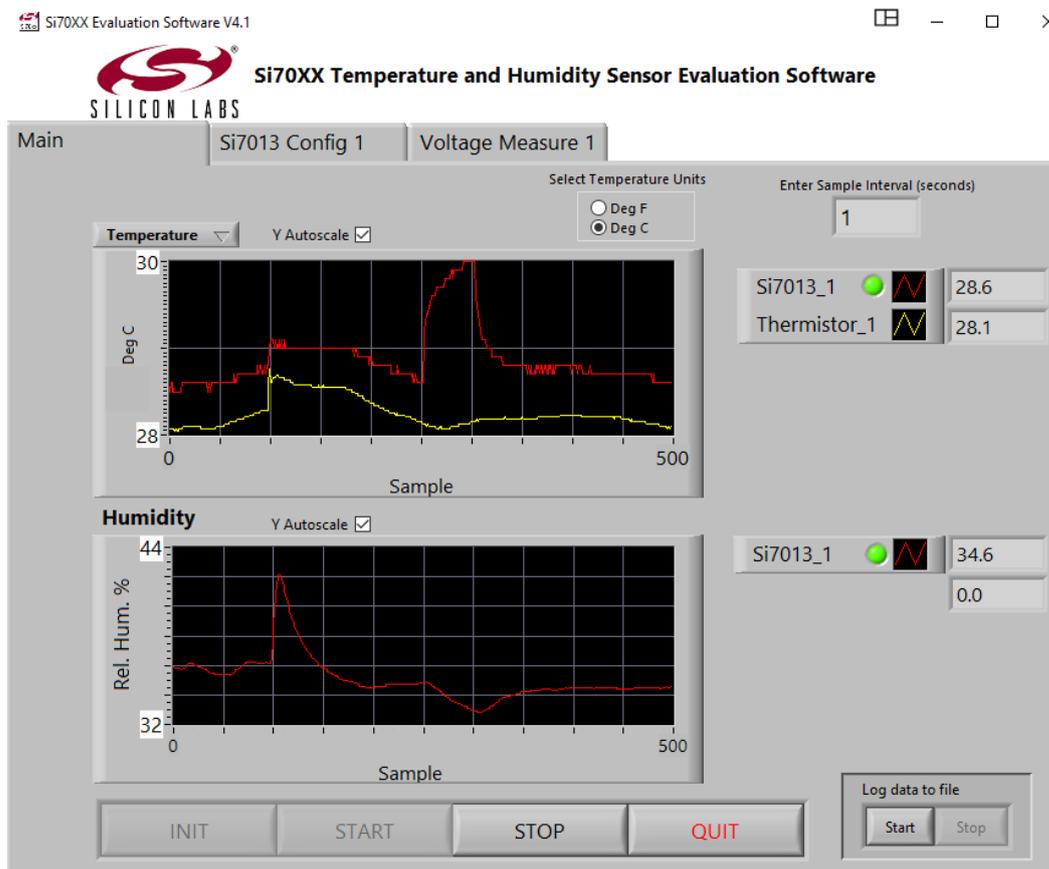
Hemos optado por adoptar el módulo USB Si7013 de Silicon Labs que es capaz de medir tanto temperatura como humedad usando el sensor integrado Si7013—A20 cuyas hojas técnica pueden consultarse en <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7013-A20.pdf>.



**Figura 4.** Módulo sensor USB Si7013. Panel de control de la EB.



**Figura 5.** Sensor adicional externo Si7034.

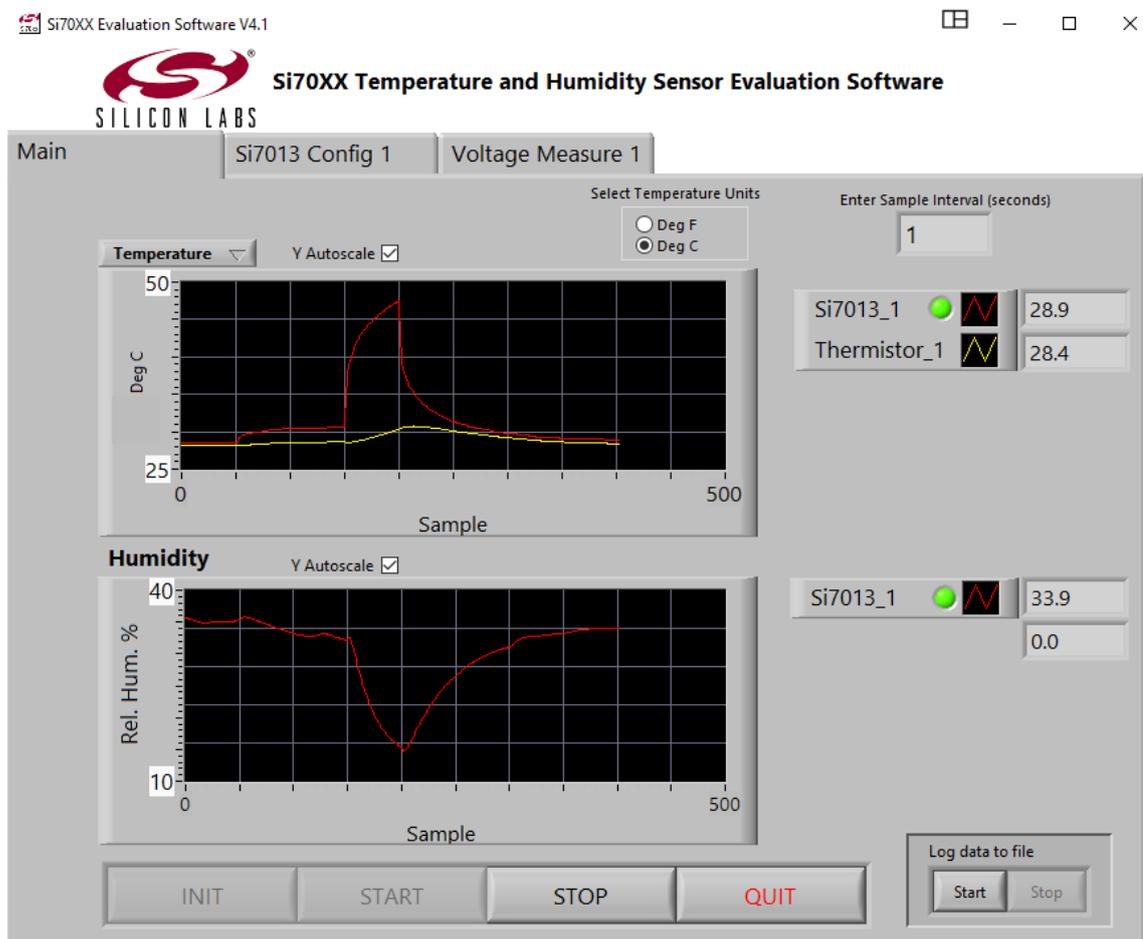


**Figura 6.** Panel de control de la EB.

En la Figura 4 mostramos una fotografía de la EB Si7013. El sensor aparece con una cobertura porosa de color blanco que puede identificarse fácilmente en la fotografía. Cerca del sensor se

aprecia un micro-conector con un bus de tipo banda de seis hilos que permite incorporar un segundo sensor a distancia con una comunicación de tipo I<sup>2</sup>C con el módulo USB. En la Figura 5 se muestra un sensor externo de temperatura y humedad (un Si7034, sus hojas técnica se pueden consultar en <https://www.silabs.com/documents/public/data-sheets/Si7034.pdf>) que se conecta a través del bus I<sup>2</sup>C con el módulo USB que actúa como principal.

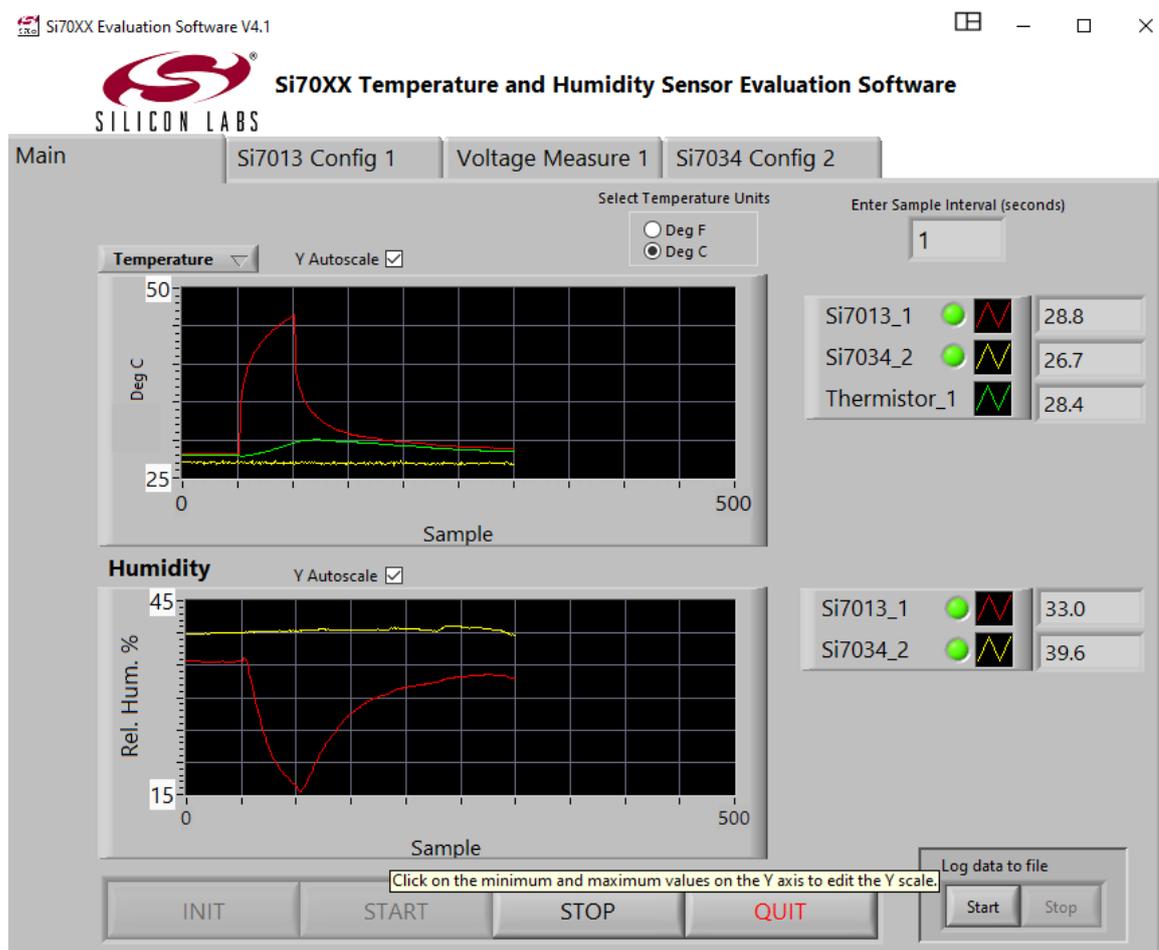
En la Figura 6 mostramos la interfaz gráfica del módulo USB instalada en Windows 10. Podemos distinguir la existencia de dos sensores: el citado Si7013, un sensor micromecanizado de alta tecnología fabricado en Si, y un sensor simple basado en una resistencia (termistor) que se ha usado como sensor térmico de manera tradicional.



**Figura 7.** Panel de control de la EB con dos estímulos térmicos..

En las experiencias recogidas en el presente informe se han realizado medidas pilotadas mediante la EB a intervalos exactos de un segundo. La medida se extiende a lo largo de 500

segundos generando una serie temporal de 500 valores que se representa automáticamente o puede guardarse en un fichero .csv (ver esquina inferior derecha de la interfaz gráfica en la Figura 6). La experiencia ha consistido en un estímulo breve de aliento sobre el sensor en el segundo 100 se observa una rápida subida de la medida de humedad que se relaja en unos 50 segundos y un rápido aumento de la temperatura que tarda más de 150 segundos en relajarse. En el segundo 150 se somete a un calentamiento al sensor mediante una corriente de 30mA durante 50 segundos. Puede apreciarse la lentitud de la respuesta del termistor en comparación con la del sensor integrado. El calor disipado reduce la humedad localmente como se aprecia en la curva de humedad.



**Figura 8.** Panel de control de la EB con doble estímulo térmico.

La Figura 7 hemos introducido un estímulo térmico de 3mA entre el segundo 50 y el 100. En el segundo 101 se incrementa la corriente de calentamiento a 39mA y el estímulo térmico se retira

completamente en el segundo 200. Puede apreciarse la lentitud y falta de sensibilidad del termistor.

Finalmente, en la Figura 8 se muestra el resultado de la medida simultánea con el sensor externo (Figura 5) y el sensor y el termistor de la placa USB cuando se aplica a los 50 segundos un calentamiento a 39mA durante 50 segundos. Además de la estudiada respuesta muy diferente de Si7013 y el termistor podemos observar la estabilidad en la medida del sensor Si7034 alejado de la placa USB.

Finalmente, debemos indicar el flujo recomendable de implementación. El material docente desarrollado se ha probado en la asignatura Física de Sensores del Máster de Física y Matemáticas, esto ha permitido recoger sus opiniones y sugerencias. Los estudiantes son poco numerosos y la interacción con el profesor ha hecho innecesario una evaluación anónima. La opinión ha sido muy favorable y varias de sus sugerencias han servido para mejorar los resultados mostrados en este Informe Final. En cursos siguientes se desplegarán los materiales en otras asignaturas.

## CONCLUSIONES

Se ha completado el PID con éxito en el plazo previsto y alcanzando los objetivos previstos. Se han puesto en servicio EBs con sensores e interfaz gráfica para Windows 7/10. Se han desarrollado y documentado varios experimentos para su uso en docencia que permiten su uso transversal en varios Grados y en varios niveles docentes: desde segundo curso de Grado hasta Máster. La innovación y calidad docentes están aseguradas por el uso de herramientas de última generación (las mismas que se usan en entornos industriales; lo que proporciona un elevado valor añadido a la formación que la USAL imparte a sus estudiantes) que permiten un alto grado de trabajo autónomo y no presencial del estudiante.

El uso de los EBs permite una alta eficiencia temporal: Los módulos IoT pueden usarse para reemplazar una sesión de una hora de montaje e instrumentación en laboratorio por una instalación de 5 minutos en un PC. Como hemos mostrado, la medida se puede hacer de forma

continua sin necesidad de intervención continua del estudiante y en instantes precisos sin errores de intervención humana. Los resultados se registran en formato .csv para su análisis posterior. Todo lo anterior contribuye al interés e implicación del estudiante: Éste es responsable de la medida desde la instalación del software y conexión del módulo al PC hasta el registro, representación y análisis de resultados.

Finalmente, como justificamos más arriba, estas herramientas (tanto el software como el sensor) se encuadran en el IoT que se está introduciendo de manera masiva en entornos, entre otros, de producción y laboratorios de medida. Otro aspecto positivo que demos considerar es que la disponibilidad de sensores se incrementa y los precios se reducen progresivamente. Entre los aspectos negativos están la obsolescencia (el mercado evoluciona muy rápidamente y muchos sensores) y la fragilidad de las EBs.