

# Desarrollo de un sistema de adquisición de datos inteligente conforme a la norma IEEE Std. 1451.4

Soriano García, Jose Antonio

Ingeniería en Electrónica Industrial y Automática  
EPSEVG, Departamento Ingeniería Electrónica UPC  
Av. Víctor Balaguer s/n, 08800 Vilanova i la Geltrú

## Resumen

En este documento se pretenden mostrar las bases para el desarrollo de un sistema TEDS de clase II conforme a la norma IEEE 1451.4 para cualquier tipo de sensor genérico.

Para ello primero se tratará de explicar resumidamente el contenido de la norma y el funcionamiento básico de ésta, seguidamente se detallarán ejemplos de funcionamiento actuales de éstos sensores así como las ventajas que suponen para los sensores analógicos. Después se mostrará los pasos seguidos para el desarrollo del sensor inteligente Clase II para, por último, mostrar las conclusiones del desarrollo llevado a cabo así como una lista de posibles mejoras a realizar a partir de lo expuesto.

## 1. Introducción

La industria de los sensores analógicos es una de las más grandes que existen. Los sensores analógicos inundan nuestra vida haciendo que las cosas funcionen como deberían funcionar. Sin embargo los sensores analógicos no están exentos de problemas, problemas que pueden ocasionarnos un simple disgusto, como que un sensor de temperatura haya dejado de funcionar correctamente sin percatarse de ello en un congelador, haciendo que haya que tirar la mitad de los alimentos contenidos; o pueden traer consecuencias mucho más importantes como por ejemplo un sensor que reporte que está funcionando correctamente en el núcleo de un reactor cuando en realidad el reactor está a punto de entrar en fusión.

¿Pero, como puede ocurrir esto? Para responder a esa pregunta primero debemos conocer la forma en la que actúa y el comportamiento de un sensor. Un sensor recibe la magnitud que está recibiendo (en función de su utilidad puede ser temperatura, distancia, presión, fuerza, aceleración, etc.) y la transforma en una tensión que es lo que reportará en última instancia, para convertir ese voltaje en la magnitud original, es necesario mirar la calibración del sensor para, después de las operaciones y programación necesarias, convertir esa tensión en °C, m., Pa., o cualquier unidad que el sensor esté midiendo. Esa calibración viene dada en el Data Sheet del sensor, el cual es un libro en forma de “manual” proporcionado por el fabricante que indica las características del sensor. Aquí es cuando se produce el error más frecuente: el error humano. Cuando el operario introduce los datos del sensor en el sistema correspondiente (generalmente en un PC), un solo

número equivocado echaría por tierra toda una investigación además de, como hemos podido ver antes, tener consecuencias más o menos importantes para las personas.

Esa es una de las muchas razones por las que se puso en marcha la norma IEEE 1451 y más concretamente para sensores analógicos la IEEE 1451.4. Esta norma contempla el uso de los “Transducer Electronic DataSheet” o TEDS, los cuales son datasheets contenidos en una memoria EEPROM y que se sitúan en algún punto del montaje del sensor lo que otorgan a dicho sensor una capacidad de “auto-identificación” además de trasladar todos sus datos a la plataforma de adquisición (el PC) minimizando las posibilidades de error de una transcripción manual.

No obstante, este no es el único uso que se le puede dar a la norma IEEE 1451.4, ya que su capacidad de auto-identificación tiene muchísimas posibilidades en ensayos y entornos donde sea difícil diferenciar cada sensor por estar en un entorno con multitud de sensores (muchas veces exactamente iguales) o simplemente estar en entornos de difícil acceso o ambientes peligrosos.

Hay otro punto a tener en cuenta, quizá más indirecto pero no por ello menos importante. Como hemos dicho anteriormente los TEDS simulan electrónicamente los datasheets que vienen dados por el fabricante en formato físico, al tener la posibilidad de recoger los datasheets siempre que se quiera en una memoria EEPROM (la cual puede ser borrada y reprogramada entre 100.000 y un millón de veces pero puede ser leída un número ilimitado de veces [1]), esto disminuye la necesidad de realizar copias físicas de dichos datasheets lo que implica una gran reducción de la cantidad de papel necesaria ya que son incontables los sensores analógicos que hay ahora mismo en circulación en el mundo y cada día que pasa ese número aumenta debido a la globalización informática que existe actualmente en la que para cada acción hay una automatización detrás con un sensor que la acciona.

Así pues este trabajo pretende dar las bases para desarrollar un sistema de adquisición de datos inteligente que cumpla la normativa IEEE 1451.4 para aplicar a cualquier sensor genérico y de ésta forma aprovecharse de las múltiples ventajas que nos brinda ésta norma.

## 2. IEEE 1451.4

El IEEE 1451.4 es un estándar que define cómo los transductores analógicos pueden heredar habilidades de auto-descripción para operación plug-and-play simplificada. El estándar define una interfaz de modo mixto que conserva la señal del sensor analógica tradicional, pero añade un enlace digital serial de bajo costo para tener acceso a una hoja de datos electrónica de transductores (TEDS) embebida en el sensor para auto-identificación y auto-descripción. [2]

Cuando se instala y configura un sistema DAQ tradicional, se debe proporcionar manualmente parámetros importantes del sensor, como el rango, la sensibilidad y los factores de escala, para que el software use y escale adecuadamente los datos del sensor. Un sistema equipado con sensores y actuadores IEEE 1451.4 puede automatizar este paso de configuración y también incrementar la integridad y la fiabilidad generales del sistema.

Aunque existen otras tecnologías de sensores inteligentes que también ofrecen operación plug-and-play, el IEEE 1451.4 es único porque mantiene la salida analógica del sensor. Por lo tanto, los transductores IEEE 1451.4 son compatibles con sistemas de legado que incluyen interfaces analógicas tradicionales. Y la simplicidad de implementación del IEEE 1451.4 tiene ventajas muy significativas y pragmáticas: la fácil adaptación de los sensores existentes y un muy bajo riesgo de adopción para los fabricantes de sensores.

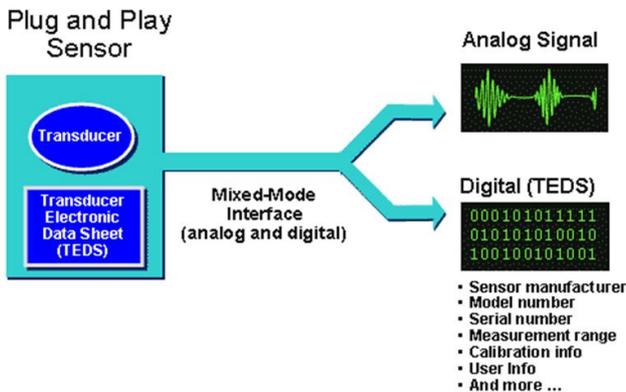


Fig. 1. Sensor Plug-and-Play con información TEDS embebida

El IEEE 1451.4 define un formato estándar para datos de TEDS que son embebidos en transductores plug-and-play. Como mínimo, las TEDS IEEE 1451.4 contiene información del fabricante, número de modelo y número de serie del transductor. La mayoría de las TEDS también describen los atributos importantes del sensor o actuador, como rango de medida, sensibilidad, coeficientes de temperatura e interfaz eléctrica. En otras palabras, el TEDS describe todo lo que se necesita saber para realizar una medida usando los sensores. La siguiente figura muestra un ejemplo de un TEDS para un acelerómetro.

Basic TEDS	Manufacturer ID	43 (Acme Accelerometer Company)
	Model Number	7115
	Version Letter	B
	Serial Number	X001691
Standard and Extended TEDS (fields will vary according to transducer type)	Calibration Date	Jan 29, 2000
	Sensitivity @ ref. condition (S ref)	1.0094E+03 mV/g
	Physical measurement range	± 50 g
	Electrical output range	± 5 V
	Reference frequency (f ref)	100.0 Hz
	Quality factor @ fref (Q)	300 E-3
	Temperature coefficient	-0.48 %/°C
	Reference temperature (T ref)	23 °C
User Area	Sensitivity direction (x,y,z)	x
	Sensor Location	Strut 3A
	Calibration due date	April 15, 2002

Fig.2. Ejemplo de TEDS para acelerómetro

## 3. Interfaz IEEE 1451.4 de modo mixto: TEDS

Un sensor TEDS proporciona una interfaz que conserva tanto la señal analógica tradicional (ya sea una tensión simple, una corriente, una impedancia, un circuito de puente, etc.) y añade una interfaz digital para la transferencia de la información almacenada en una EEPROM. El estándar define dos tipos de interfaces de modo mixto, designadas como interfaces Clase 1 de dos cables y Clase 2 de múltiples cables.

### A) TEDS Clase I

La interfaz Clase 1 de dos cables funciona con transductores energizados con corriente constante o ICP® (Integrated Circuit Piezoelectric), como acelerómetros. ICP es una marca registrada de PCB Piezotronics, Inc. Los transductores Clase 1 incluyen diodos o conmutadores analógicos con los cuales es posible el multiplexado de la señal analógica con la información TEDS digital en el único par de cables.

En sensores de Clase 1, la señal digital se comparte con la señal analógica en las mismas líneas. El sensor incluye la EEPROM y la circuitería para la conmutación basada en una corriente de polarización, que por lo general es sólo una resistencia y un diodo o dos.

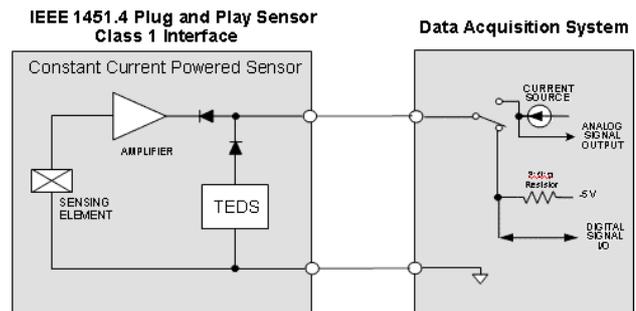


Fig. 3. Interfaz de dos cables Clase I para sensores ICP

### B) TEDS Clase II

Para otro tipo de sensores, la interfaz Clase 2 utiliza una conexión diferente para las porciones analógicas y digitales de la interfaz de modo mixto. La entrada y salida analógica del transductor se deja sin modificaciones y el circuito digital para TEDS es añadido en paralelo. Esto permite la implementación de transductores plug-and-play con prácticamente cualquier tipo de sensor o actuador, incluyendo termopares, RTDs, termistores, sensores de puente, celdas electroquímicas y sensores de lazos de

corriente de 4-20 mA. Debido a las líneas separadas, no es necesaria una conmutación ya que la señal digital TEDS y la medición analógica se envían por separado.

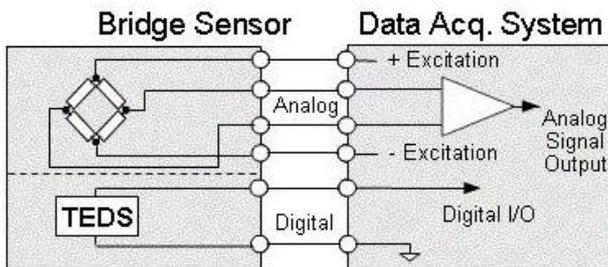


Fig.4. Interfaz Clase 2 con las dos vías por separado

### C) Virtual TEDS

El estándar también establece el concepto de “TEDS virtual”. Permite a los sistemas de adquisición de datos descargar la información de correcta calibración de los miles de millones de sensores analógicos en lugares que no tiene chips TEDS incorporado (mientras alguien haya creado un TEDS virtual para el sensor). Toda una base de datos de archivos de TEDS para decenas de millones de sensores se puede almacenar en un disco o en un servidor accesible a través de Internet. Un número de identificación único, clasificado por el vendedor y modelo o número de serie, identifica cada TEDS.

## 4. Estructura interna TEDS

Independientemente de la interfaz utilizada, IEEE 1451.4 define los TEDS como múltiples secciones que juntas forman un completo TEDS. La primera sección son los “Basic TEDS”, los cuales comprimen la información para la identificación esencial. Típicamente, un TEDS IEEE estándar el cual define las propiedades importantes de un sensor particular seguirá una estructura de “Basic TEDS”. Opcionalmente, este estándar TEDS puede ser ampliado con una plantilla de calibración. Dos bits en los datos de los TEDS indican el comienzo de la siguiente sección. Finalmente, el final de sección de los TEDS es utilizado a criterio del usuario.[3]

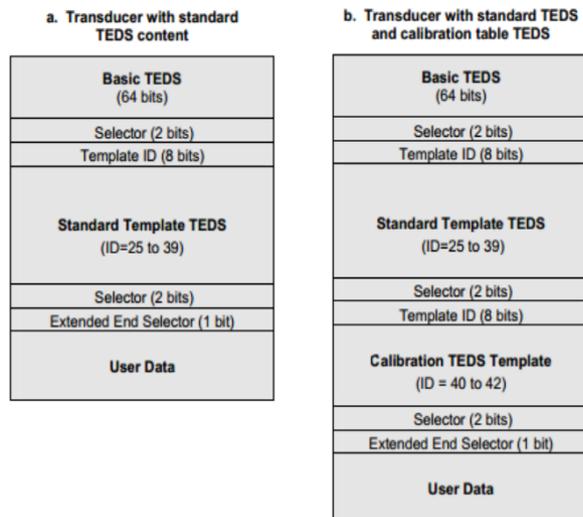


Fig.5. Información contenida en la EEPROM

### A) Basic TEDS

Los primeros 64 bits de los transductores TEDS definen el “Basic TEDS”. El “Basic TEDS” únicamente identifica el transductor e incluye el número de identificación del fabricante (Manufacturer ID) en 14 bits, el número del modelo (15 bits), la letra de la versión (5-bits con código de caracteres), el número de versión (6 bits) y el número de serie del dispositivo (24 bits). Estos datos serán organizados conforme al formato descrito anteriormente.

	Bit Length	Allowable Range
Manufacturer ID	14	17 – 16381
Model Number	15	0-32767
Version Letter	5	A-Z (data type Chr5)
Version Number	6	0-63
Serial Number	24	0-16777215

Fig.6. Esquema de un “Basic TEDS”

### B) Plantillas estándar para los TEDS

La norma define una colección de plantillas para las clases comunes de transductores. Plantillas de 25 a 39 son plantillas de tipo de transductor que contienen propiedades que son necesarias para los tipos específicos de transductores tales como acelerómetros, micrófonos, etc. Plantillas 40, 41, y 42 son plantillas de calibración y se pueden utilizar con una de las plantillas de tipo de transductor.

## 5. Ejemplos de utilización actuales

El estándar 1451.4 tiene numerosas aplicaciones actuales, es muy utilizado en la industria del automóvil donde se necesita gran cantidad de sensores para medir deformación, fuerza aplicada, etc. en ensayos de choque o resistencia de la carrocería.

Pero para ver un ejemplo práctico y confirmar lo poderoso que es el 1451, se puede considerar el problema al que se enfrenta el estado de Ohio, que tiene que construir y mantener carreteras que deben soportar condiciones extremas del invierno. Para investigar la durabilidad de los materiales usados en la construcción de carreteras, el instituto de investigación de Ohio para el transporte y el ambiente en la universidad de Ohio, en Atenas, estudia el rendimiento de los pavimentos mediante la incorporación de sensores en los caminos. Los sensores analógicos miden la tensión, la carga, y la deformación en el pavimento. Debido a las condiciones ambientales y las limitaciones de costo, los sistemas de adquisición de datos y los sensores digitales son impracticables. En cambio, el equipo de Ohio decidió utilizar un sistema portable de adquisición de datos que podría ser transportado a cada uno de los sitios de monitorización y conectado a los sensores embebidos.

Uno de los mayores desafíos del proyecto ocurre cuando el sistema portable llega un sitio. Los sensores deben ser conectados al sistema para llevar a cabo una prueba, pero con los sensores de la carretera ¿cómo puede el equipo distinguir qué cable pertenece a los distintos sensores? Se podría escribir una etiqueta para cada uno de los cables, pero los investigadores se dieron cuenta que aunque los extremos de los cables terminan en una caja protectora a

un lado del camino, los ratones entran y comen las etiquetas. Otra solución sería escribir directamente sobre los cables, pero los roedores tienen un gusto para el aislamiento del PVC y también mordisquean en la escritura. Cables de color podría funcionar, salvo que el color se pierde por el agua salada en el invierno en la autopista de Ohio, por lo que rojo, negro y blanco se convertirá en blanco, blanco y blanco en lo que el momento que el equipo regrese. Las etiquetas del metal serían la solución, pero la fabricación de las mismas consume tiempo y es costosa.

Para combatir el problema, en Ohio han desarrollado un sistema 1451.4 que identifica automáticamente el sensor que se encuentra al final de cada cable. [4]

## 6. Desarrollo del sistema

La base del proyecto es la de desarrollar un sistema que adapte un sensor genérico en un sensor inteligente conforme a la norma IEEE 1451.4. Para ello se ha decidido debido al material disponible, por adaptar el sensor al interfaz TEDS de clase II en el que la adquisición de los datos analógicos y digitales van por vías diferentes.

Para el desarrollo del sistema se utilizará: una memoria EEPROM DS2431 de protocolo 1-wire y 1024kb de memoria, con esta memoria trataremos de grabar dentro los datos de un sensor analógico genérico; un adaptador blindado para módulos SCC de acondicionamiento de señales con conectores configurables para sensores inteligentes TEDS Clase II NI SC-2350; tarjeta de adquisición de datos DAQ NI PCI-6221 de la serie M, la cual se ha confirmado previamente que es compatible con el SC-2350. El sensor que trataremos de "convertir" en sensor TEDS Clase II es un sensor B&K 4508B003 el cual ya tiene TEDS Clase I en su interior pero al no haber posibilidad de hacer la adquisición se optó por usar éste sensor como sensor genérico y adaptarlo a la Clase II.

Para la adquisición en software se utilizarán los programas de National Instruments: LabView, el cual nos brinda una forma de programación visual al estilo "flujograma" y Measurement and Automation Explorer (MAX), el cual nos ayudará a realizar la configuración del SC-2350.

## 7. Escritura de TEDS en la memoria

El SC-2350 dispone de varios sockets con los cuales realizar operaciones de adquisición de datos analógicos (J1-J8) o digitales (panel IO), además de ello dispone de sockets para la adquisición de TEDS. Lo que se pretende hacer es simular un módulo SCC para hacer que desde los sockets de adquisición de datos analógicos se pueda realizar una operación de escritura en la memoria. La memoria EEPROM tiene un encapsulado TO-92, lo que la hace realmente sencilla para conectar, simplemente dispone de una línea I/O y una línea GND (ver figura 7).

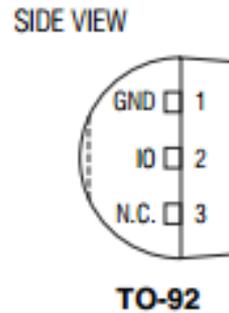


Fig.7. Conexión de la DS2431

Como resumen, para realizar la escritura de TEDS en la memoria hay que seguir estos pasos:

El primer paso consistirá en alimentar la caja de adquisición. El SC-2350 cuenta con tres módulos de alimentación posibles conectados al socket J21. Cada módulo proporciona una alimentación digital de +5V y una analógica de  $\pm 15V$ . En el presente caso la caja SC-2350 será alimentada mediante el módulo SCC-PWR03 (ver figura 8).

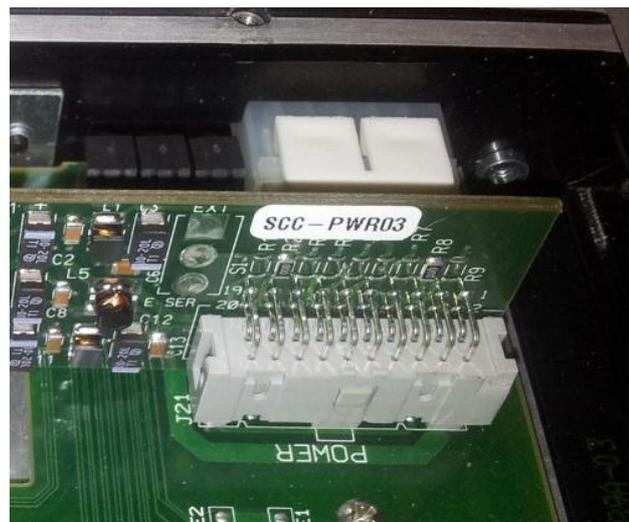


Fig.8. Vista real del SCC-PWR03

Seguidamente utilizaremos uno de los sockets J1-J8 que están directamente conectados a los sockets J26-J32 (TEDS) a través de los pines 15-16 para el IO de la memoria (protocolo 1-wire) y el pin 6 para el GND.

No se necesita alimentación externa ni protección contra sobretensiones o corriente inversa para la memoria ya que el SC-2350 genera 5V para las señales digitales lo cual alimenta de manera suficiente el chip de la memoria.

Pin Number	J1–J8: Analog Input
1	AI (X) to DAQ device
2	—
3	AI SENSE
4	AI (X+8) to DAQ device
5	—
6	AI GND
7	PFI 7/AI SAMP CLK
8	—
9	+5 V
10	GND
11	A GND
12	REF 5 V
13	+15 V
14	–15 V
15	1-Wire (X+8)
16	1-Wire (X)
17	—
18	—
19	—
20	—

Fig.9. Relación de pines de los sockets J1-J8

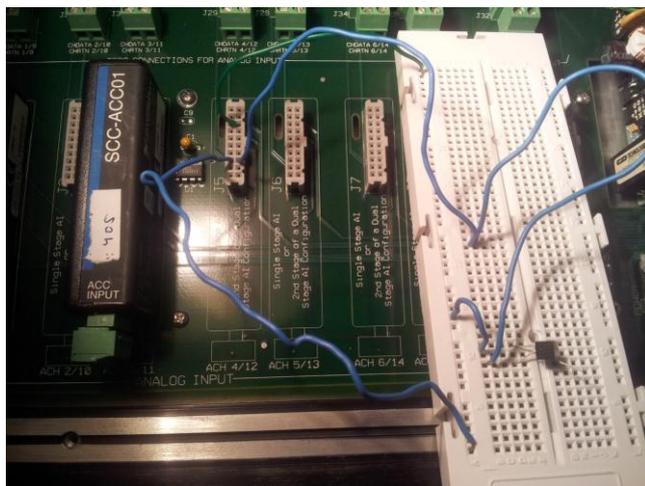


Fig.10. Conexión real de la memoria para su escritura

Una vez hecho el conexionado ya podemos realizar la escritura (previamente habremos de configurar el SC-2350 en el MAX tal y como indica en su manual). Con un software apropiado creado en LabView. Para este trabajo se ha utilizado un software en formato esquemático donde se puede introducir todos los datos recogidos en el apartado 4. Mediante este software se puede grabar el TEDS de cualquier plantilla tipo de transductor tanto a través de un DAQ (el caso que nos ocupa) como a través de un puerto serie con un adaptador 1-wire. También es posible utilizar el software para grabar Virtual TEDS en formato electrónico para ser consultado en cualquier lugar a través de internet.

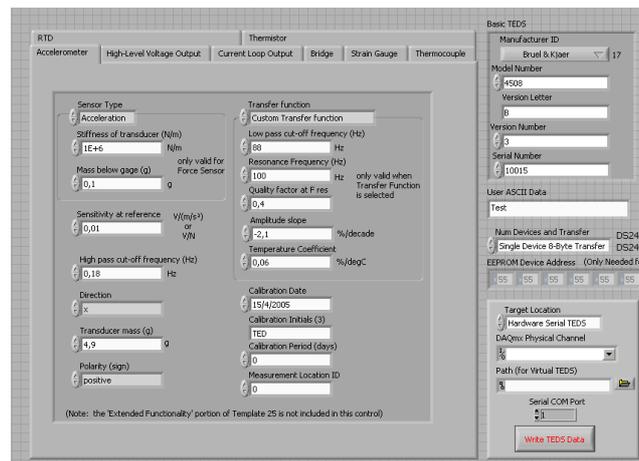


Fig.11. Vista del panel frontal del software de escritura en LabView

## 7. Lectura de TEDS en la memoria

Una vez hecha la escritura se procederá a la validación de ésta.

Para realizar la lectura utilizaremos los sockets J26-J34 correspondiente al módulo SCC instalado. Para ello utilizaremos los “TEDS CONNECTIONS FOR ANALOG INPUT” situado justo encima del módulo SCC en el cual haremos la adquisición del sensor.

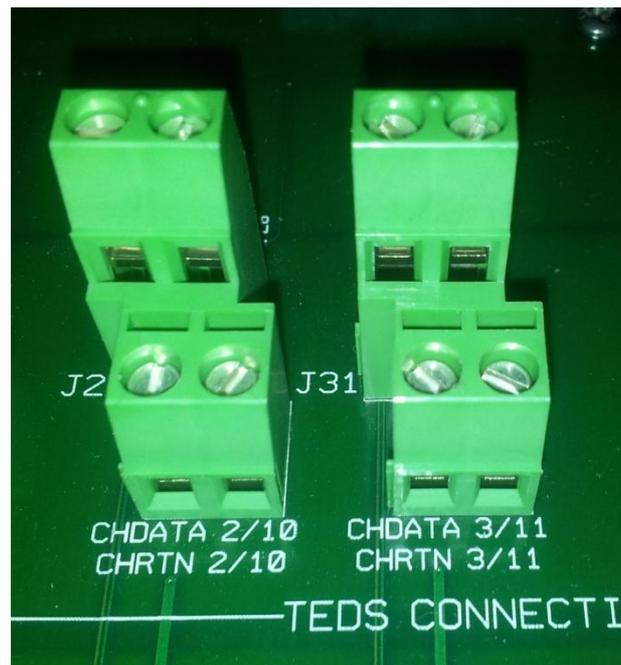


Fig.12. Sockets para TEDS

El conexionado será similar a la escritura sin embargo para éste caso si debe estar conectado el módulo SCC. De hecho se podría realizar la lectura con el mismo conexionado utilizado para la escritura (los pines antes mencionados), pero en ese caso no sería posible hacer simultáneamente la adquisición analógica del sensor (o al menos no sería posible en el mismo socket).

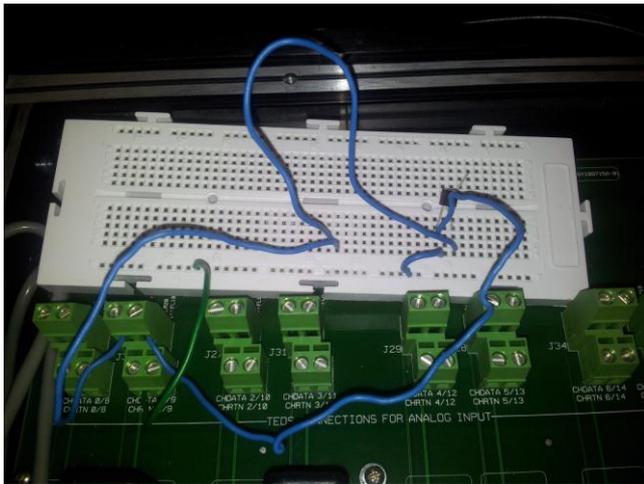


Fig.13. Conexión real para la lectura de la memoria

Una vez hecho esto se procederá a la utilización de un software o inclusive desde el propio MAX se podrá realizar la comprobación de que se ha recibido correctamente el TEDS. Para estar seguros en este trabajo se ha realizado una programación en LabView para recepción de TEDS y su muestra en pantalla.

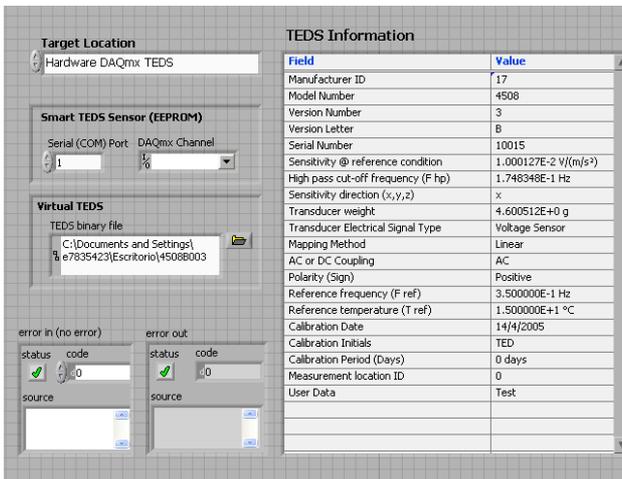


Fig.14 Vista del panel frontal del software de escritura en LabView

## 8. Mejoras propuestas

En éste proyecto se ha optado por el desarrollo de un sistema TEDS Clase II ya que los instrumentos de los que se disponía no eran compatibles con TEDS Clase I, sin embargo en un futuro se podría pensar en el desarrollo de éste tipo de dispositivo, el cual es algo más complejo pero tiene la ventaja de no necesitar dos vías para la adquisición digital y analógica sino poder realizar ambas adquisiciones desde la misma vía.

Por otra parte es evidente que para realizar una conversión de un sensor genérico en un TEDS Clase I el procedimiento es más invasivo teniendo que modificar el circuito del propio sensor para adaptarlo a la nueva norma.

Por lo tanto ésta conversión solo se daría en casos especiales en los que una memoria EEPROM exterior no sea del todo viable (ya que no se pueda meter dentro de la caja del sensor o en algún punto del cable).

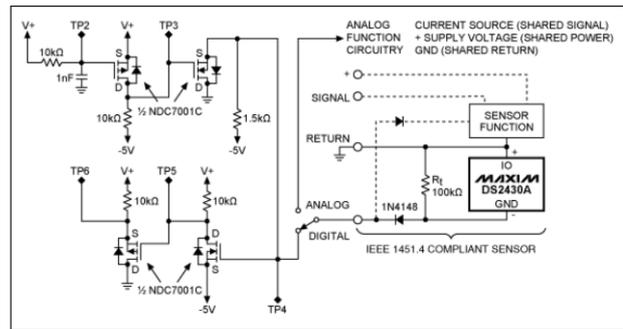


Fig. 15. Ejemplo de conexión para TEDS clase I

## 9. Conclusiones y resultados encontrados

Los resultados encontrados han sido los esperados y la escritura del TEDS en la memoria ha funcionado de manera satisfactoria. En nuestro caso en la memoria EEPROM se han grabado los datos del sensor 4508B003 el cual ya contiene un sensor TEDS de clase I en su interior sin embargo gracias a la escritura en la memoria hemos conseguido que ese sensor pueda ser adquirido mediante una caja de adquisición que no admitía TEDS de clase I.

TEDS Information	
Field	Value
Manufacturer ID	17
Model Number	4508
Version Number	3
Version Letter	B
Serial Number	10015
Sensitivity @ reference condition	1.000127E-2 V/(m/s <sup>2</sup> )
High pass cut-off frequency (F hp)	1.748348E-1 Hz
Sensitivity direction (x,y,z)	x
Transducer weight	4.600512E+0 g
Transducer Electrical Signal Type	Voltage Sensor
Mapping Method	Linear
AC or DC Coupling	AC
Polarity (Sign)	Positive
Reference frequency (F ref)	3.500000E-1 Hz
Reference temperature (T ref)	1.500000E+1 °C
Calibration Date	14/4/2005
Calibration Initials	TED
Calibration Period (Days)	0 days
Measurement location ID	0
User Data	Test

Fig.16. Resultado final de la adquisición de la memoria

En cualquier otro caso, se podría grabar el datasheet de cualquier sensor genérico y al ser una memoria de pequeñas dimensiones, se podría instalar en la misma caja del sensor o en cualquier punto del cable. Además cabe decir que la memoria usada es una memoria de muy bajo coste. Y si bien es cierto que la caja de adquisición es un aparato costoso, como se puede observar en los programas adjuntos se podría realizar la lectura/escritura con un adaptador para 1-wire, los cuales son bastante más baratos.

La reconversión de los actuales sensores analógicos a sensores inteligentes implicaría un beneficio mucho mayor al coste que implica la conversión, no solamente en el

aspecto económico, ya que siempre que hay un problema de error en la calibración el costo de reparación es alto por no hablar de las posibles consecuencias que los fallos pudieran generar; sino, los beneficios en cuanto a la seguridad que generarían estos sensores. Evidentemente en entornos como los ensayos en energía nuclear o ensayos peligrosos es crucial el buen funcionamiento de los sensores y de las magnitudes que ellos recogen.

La realización de la conversión de un sensor genérico a un sensor inteligente no es especialmente difícil y tampoco requiere de mucho tiempo. Además ante la imposibilidad de utilizar una memoria EEPROM, no hay que olvidar que la norma IEEE 1451.4 contempla la posibilidad de los “TEDS Virtuales” los cuales también pueden ser creados con los programas adjuntos

### Referencias

- [1] <http://es.wikipedia.org/wiki/EEPROM>
- [2] Bosch, J.; Carmona, M. “Instrumentación inteligente”. *Instrumentación Electrónica Avanzada*. Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d’Electrònica 2012
- [3] Song, E.Y.; Lee, K. "Understanding IEEE 1451-Networked smart transducer interface standard - What is a smart transducer?", *Instrumentation & Measurement Magazine*, IEEE, Páginas: 11 - 17 Volumen: 11, Abril 2008
- [4] Betts, B. “Smart Sens”. *New standard could save lives and money*. Barcelona: USA Abril 2006