

Construcción de un sensor inteligente a partir de sensores comunes

Sergio H Gallina¹; Luis D Villagrán¹; Paola Beltramini¹; Lucas Arjona²; Matias Ferraro²; Gaston Peretti³; Sergio Francisco Felissia³

(1). *Departamento de Electrónica Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas - UNCa. Máximo Victorio 55- San Fernando del Valle Catamarca – Catamarca (4700)*
e-mails: sgallina@tecno.unca.edu.ar, ldvillagran@hotmail.com

(2). *Estudiante de Ingeniería Electronica-Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas –UNCa*

(3). *Departamento de Electrónica de Facultad Regional San Francisco de la Universidad Tecnológica Nacional.*

e-mails: gastonperetti@gmail.com; sergiofelissia@gmail.com

RESUMEN: Un transductor inteligente es la integración de un sensor o actuador analógico o digital, una unidad de procesamiento, las hojas electrónicas de datos (TEDS) y una interfaz de red. En este contexto, el presente trabajo propone una arquitectura que permite transformar sensores comunes a sensores inteligentes mediante el agregado de una lógica de control y las hojas electrónicas de datos, partiendo de la familia de estándar IEEE 1451. Con vistas a la validación, se desarrolló un prototipo de la arquitectura propuesta utilizando sensores de humedad y temperatura para los que se diseñó el acondicionamiento de señal y las TEDS correspondientes. La interconexión de los bloques de sensores se realizó con el protocolo serie RS 485. Con los resultados, hemos podido demostrar que la implementación de la característica de inteligencia en sensores se puede realizar con un mínimo de componentes de hardware y software.

Palabras clave: sensor, actuador, transductor inteligente, red de sensores, Estándar IEEE 1451.

1 SENSORES INTELIGENTES

Transductor es el nombre dado a un sensor o actuador, dispositivos de detección y accionamiento en un proceso dado. Estos dispositivos son protagonistas indispensables en el escenario de la automatización de sistemas.

Con el advenimiento de los microcontroladores y amplia disponibilidad de herramientas y medios para procesar los sistemas digitales, fue posible introducir una elevada capacidad de cálculo a los transductores (Chong, 2003). De esa afirmación nace el término de transductor inteligente, que es la integración de un sensor analógico o digital o un actuador, una unidad de procesamiento y una interfaz de red (Elmenreich, 2003)

El concepto de redes de sensores inteligentes no sólo está conectado al intercambio de información de un transductor a otro, sino también con la distribución y disponibilidad de la información

en tiempo real. El funcionamiento de los sensores inteligentes a través de interfaces normalizadas hace que sea posible compartir información y los recursos de un sistema, la supervisión de un proceso completo o bien el acceso y control remoto de las variables involucradas.

Según Elmenreich (2006), suponiendo que los sensores y actuadores se implementan como transductores con interfaz de red inteligente en un sistema distribuido, es posible conectar estos transductores en un sistema de comunicación con características *broadcast*.

De la lectura de bibliografía relacionada al uso de transductores inteligentes surgen los siguientes requisitos para que esta cualidad de *inteligentes* pueda ser considerada como tal:

- *Operación en Tiempo Real:* transductores para muchas aplicaciones tienen limitaciones de tiempo.

- *Gestión compleja*: el transductor inteligente debe proporcionar los medios para administrar la complejidad del sistema cuando se conecta un conmutador de red o transductor.

- *Soporte y mantenimiento*: Los sistemas que deben estar en funcionamiento durante un período prolongado de tiempo por lo general requieren el acceso a los transductores para el mantenimiento, ejemplo la recalibración.

- *Comportamiento determinístico*: Un sistema es determinista si ante un conjunto entrada siempre produce la misma salida.

Los usuarios de los servicios prestados por los transductores pueden acceder a sus datos a través de una interfaz abstracta que oculta la complejidad interna de hardware y software del transductor. La responsabilidad de la instrumentación y el acondicionamiento de la señal con el fin de proporcionar el servicio de una manera estandarizada es del fabricante (Elmenreich, 2003).

Un sistema distribuido con un gran número de transductores inteligentes interconectados debería proporcionar un enfoque genérico para la configuración automática. Esta característica *plug&play* se justifica por el ahorro de tiempo y mejora del mantenimiento a menor costo, además de una mejor exigencia de calificación del responsable de la instalación (Elmenreich, 2003).

2. ESTÁNDAR IEEE 1451

En septiembre de 1993, el *Instituto Nacional de Estándares y Tecnología* (NIST) y el *Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos* (IEEE) se reunieron para discutir las tecnologías de transductores inteligentes y surgió la necesidad de crear un interfaz de comunicación común para transductores inteligentes. De esta reunión surgieron comités responsables de producir las especificaciones de la interfaz. Los primeros grupos de trabajo fueron los IEEE 1451.1 y IEEE 1451.2. Después de dos años se crearon los grupos de trabajo, IEEE 1451.3 y IEEE 1451.4. Los grupos de trabajo IEEE 1451.5 y IEEE 1451.6 fueron creados más recientemente.

2.1 IEEE 1451.1

El estándar IEEE 1451.1 (IEEE 1451.1, 1999) define un modelo impulsado por objetos implementado en un procesador de aplicación capaz de funcionar en red (NCAP) para representar cualquier transductor inteligente en la red.

El NCAP tiene al menos dos interfaces de comunicación: una con la red y otra con el transductor.

El procesador capaz de operar en la red es responsable de hacer posible el intercambio de información entre la red y el transductor, ocultando los protocolos de comunicación y detalles de implementación. Se compone de cuatro bloques: el sistema operativo, biblioteca de clases, el bloque de interfaz con el bloque y la interfaz del transductor con la red.

Un cliente remoto puede comunicarse con el protocolo independiente NCAP, para: a) adquirir información; b) transmitir información; c) disparar una acción, y d) ser notificado de un evento.

2.2 IEEE 1451.2

El estándar IEEE 1451.2 (IEEE1451.2, 1997) especifica una interfaz independiente para transductores (TII) y un módulo de interfaz para transductores inteligentes (STIM).

La STIM está vinculada al procesador a través de la interfaz de red independiente del Transductor y es responsable de la adquisición, acondicionamiento y digitalización señal, de todos los sensores y actuadores conectados del sistema (analógico o digital).

El estándar define las características de la STIM y cómo deben ser las comunicaciones con el NCAP a través de un canal serie (TII). Se define también una memoria que describe completamente al STIM, llamado *Hoja de Datos Electrónica del Transductor* (TEDS). Cuando un nuevo STIM se une a NCAP, la información contenida en sus TEDS se pasan a red que es capaz de interactuar con él en forma correcta y automática. La norma IEEE 1451.2 proporciona ocho estructuras de TEDS, de las cuales dos son obligatorias y seis son opcionales. A continuación se da una breve descripción de los formatos TEDS:

- *Meta TEDS (Meta-TEDS)*: Obligatoria. Una estructura que contiene toda la información general requerida del STIM, como límites de tiempo global, el número total de canales implantados y la velocidad máxima de comunicación con el NCAP.
- *TEDS del Canal transductor (Channel TEDS)*: Una estructura de memoria obligatoria que define el modelo funcional, modelo de calibración, unidades físicas, límites superior e inferior, las restricciones de tiempo, así como cualquier otra información

necesaria para describir el funcionamiento de cada canal transductor.

- *TEDS de Calibración (Calibration TEDS)*: Opcional. Tiene toda la información necesaria Para realizar una corrección por software de los datos de un canal de transductor, si es necesario.
- *Meta TEDS identificación (Meta-identification TEDS)*: Opcional. Una estructura que identifica detalladamente al STIM. Campos string incluyen el nombre del fabricante, el modelo número, el número de serie, códigos de versión, códigos de fecha, y una descripción del producto
- *TEDS Identificación del canal (Channel Identification TEDS)*: Una estructura que identifica detalladamente a un canal de un transductor.
- *TEDS Identificación de Calibración (Calibration Identification TEDS)*: Opcional. Tiene toda la información relevante para el proceso de calibración de un transductor.
- *TEDS Usuario Finales (End-Users TEDS)*: Opcional. Estructura de la memoria disponible para el usuario por si desea incluir alguna información en la STIM.
- *TEDS de Ampliación (Generic Extension TEDS)*: Opcional. Estructura de memoria opcional reservado para futuras ampliaciones del estándar IEEE 1451.2.

El concepto TEDS, el cual es desarrollado y refinado en esta norma y posteriormente en las 1451.0, 1451.4 establece un mecanismo robusto para identificar y explotar las capacidades de todos los dispositivos de control en una red. Los TEDS plenamente desarrollados constan de tres componentes: las TEDS Básico, el TEDS estándar y extendido, y el Área de Usuario. Como su nombre indica, los TEDS Básico serían comunes a todos los dispositivos de una clase en particular. Los TEDS estándar y extendida son más específicos del fabricante y permiten a estos diferenciar sus productos. El área de usuario almacenará la información local de la instalación, tal como las coordenadas GPS del sensor, por ejemplo.

2.3 IEEE 1451.4

El Estándar IEEE 1451.4 (IEEE 1451.4, 2004) define el protocolo y la interfaz que permite la comunicación de los transductores analógicos con un objeto IEEE 1451. También se define el formato de las estructuras TEDS, que se basan en el estándar IEEE 1451.2. La norma no especifica

el diseño de transductores, el acondicionamiento de señal o el uso específico de los TEDS.

El estándar IEEE 1451.4 está diseñado para proporcionar interoperabilidad, permitiendo mecanismos *plug&play* para transductores.

Un sensor inteligente TEDS como se define por IEEE 1451.4 incluye una interface de modo mixto que acomoda tanto señales analógicas (para medición de señales) como canales digitales serie (para acceder a la información digital TEDS). Existen dos tipos de interfaces de modo mixto: interfaces Clase 1 y Clase 2.

Interfaces Clase 1 son principalmente para transductores piezoeléctricos con corriente constante (acelerómetros, micrófonos, etc.) y definen un esquema para hacer cambios secuenciales entre TEDS de modo digital y análogo en un solo par de cables transductores.

Interfaces Clase 2, la cual requiere de cables adicionales para la comunicación digital TEDS. La entrada-salida análoga de los transductores no se modifica, y la interface TEDS de 2-cables se agrega en paralelo a la interface análoga.

3. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Estos sensores, basados en los estándares de la familia IEEE 1451. Más específicamente el estándar IEEE 1451.4, establece un método para desarrollar sensores *plug&play*, de manera similar a cualquier dispositivo de interfaz humana para una computadora, y define un mecanismo para agregar comportamientos auto descriptivos con una interface digital serial de bajo costo para acceder a la hoja de Datos Electrónica del Transductor (TEDS) agregada a la señal analógica, las cuales de modo mixto combinan la señal analógica del sensor tradicional con una conexión digital incluida en el sensor.

Con TEDS, el sensor se identifica y describe ante el sistema de adquisición de datos al cual está conectado.

La inclusión de capacidades *plug&play* a sensores analógicos entrega beneficios reales a usuarios y desarrolladores:

- Inicialización más rápida
- Diagnósticos mejorados
- Reducción de tiempo muerto por reparación y reemplazo de sensores
- Uso automático de calibración

El Estándar de Interface de Modo Mixto IEEE 1451.4 para Transductores Pequeños define un mecanismo para agregar tecnología de auto identificación a sensores y actuadores tradicionales. IEEE 1451.4 define el concepto de transductores de modo-mixto que proporciona tanto interfaces analógicas como digitales. La

interface analógica proporciona una señal que refleja los fenómenos físicos de una manera tradicional. El sensor inteligente con el agregado de las TEDS, también proporciona una interface digital para comunicarse con un dispositivo integrado en el transductor para obtener una descripción completa del transductor que se está usando, como ser modelo, rangos de trabajo, métodos de calibración, sensibilidad, error medio, auto detección de errores de hardware, entre otros.

En la figura 1, se muestra el diagrama que describe el funcionamiento del sensor con interfaz clase 2.

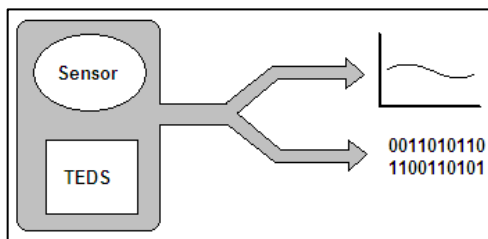


Figura 1: Transductor de modo mixto

4. CONSTRUCCIÓN DE UNA INTERFAZ PARA TRANSFORMAR UN SENSOR

Una gran variedad de transductores (sensores y actuadores), de numerosas fabricas y procedencias están disponibles en el mercado. A menudo, el usuario debe recurrir a un solo fabricante de redes, sensores y controles, para asegurar una compatibilidad. El concepto de sensores inteligentes (transductores) se esfuerza por hacer de esto una realidad.

El sistema que se propone es un NCAP mínimo, que transforme un sensor común en un sensor inteligente mediante la adicción de TEDS y lógica de control asociada, que permita además que cualquier sensor se comuniquen con cualquier otro y en cualquier red.

Una serie de funciones implementadas sobre un microprocesador proporciona una interfaz para leer (y escribir) los datos digitales en la TEDS, implementadas mediante una memoria EEPROM interna al microcontrolador. Un segundo grupo de funciones permite leer los datos analógicos de un sensor (Arjona, 2013).

El programa de computación (escrito en Visual Basic) permite monitorear, a través de una PC el funcionamiento del sensor, leer los parámetros medidos y leer/ escribir las TEDS.

4.1. Diagrama en bloques del sistema

La figura 2 muestra el diagrama de bloques del sistema propuesto. Por una cuestión de simplicidad se ha centrado el diseño en un microcontrolador PIC 16F877 de Microchip® que

tiene como desventaja para esta aplicación el tamaño (40 pines)

Aprovechando la capacidad de este procesador se han incorporado dos sensores, uno de humedad y otro de temperatura, a uno de ellos se le agregado un circuito adicional de acondicionamiento de la señal. Ambos sensores entran a un conversor analógico/digital en el microcontrolador donde se almacena un máximo de 10 lecturas por sensor a las cuales se accede mediante los comandos. Dado que los sensores operan libremente sin requerir la presencia de disparos, una nueva secuencia de 10 lecturas se inicia automáticamente.

Las hojas electrónicas de datos (TEDS) se han implementado en la memoria la memoria interna del microcontrolador, esto es posible a que solo se implementaron las TEDS obligatorias, de requerirse implementar otras no obligatorias se deberá recurrir a la inclusión de memoria EEPROM externa.

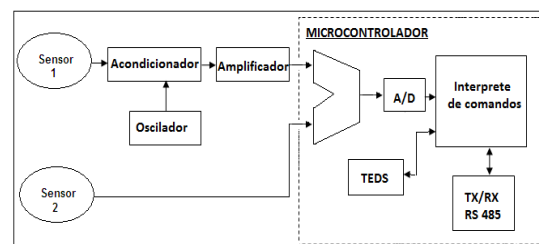


Figura 2: Diagrama en bloques de una interfaz para transductor inteligente

4.2. Registro de estado

El estado del transductor está representado de tal manera que es accesible mediante los comandos correspondientes. La palabra binaria de 16 bits incluye información relativa al funcionamiento del dispositivo. Dado que este registro responde a la estructura definida en el estándar IEEE 1451.2 solo se describen algunas de las banderas de este registro.

El bit 0 de *solicitud de servicio* se activa cuando el canal está solicitando el servicio y se borrará al leer.

El bit 1 de *reconocimiento de disparo* será activado cuando se reconoce un disparo para iniciar una medición, se borrará cuando se lee.

El bit 2 de *reset* se establece después de que el canal ha sido reiniciado por cualquier razón. Esto se borrará al leer.

El bit 4 de estado *canal auxiliar disponible* se ha fijado en "0" ya que no se implementa un registro de estado auxiliar

El bit 5 de *pérdidas de datos o de evento* se fijará coincidente con una pérdida de muestreo de

datos o la recepción de un comando no reconocido.

El bit 6 *datos / evento* se establece al finalizar un ciclo de 10 lecturas. Esto se borrará al leer o comienzo de un nuevo ciclo.

El bit 7 de estado *error de hardware* se establece en "0" ya que no se ha desarrollado una función de auto test.

El bits 8 de *canal operativo* se establecerán cuando el canal del transductor esta desbloqueado. El sensor se bloquea durante la inicialización o por un comando de bloqueo.

4.3. TEDS (Hoja Electrónica De Datos)

La Hoja de Datos Electrónica del Transductor (TEDS) proporciona una forma estandarizada de documentar electrónicamente las capacidades del dispositivo. Este documento electrónico puede ser leído por aplicaciones que deseen utilizar el dispositivo y por lo tanto las capacidades del dispositivo pueden ser descubiertos en tiempo de ejecución. En otras palabras, la aplicación puede determinar las capacidades del nuevo sensor, aun cuando nunca se ha visto el tipo de dispositivo antes.

En el prototipo se han implementado las TEDS que identifican al sensor de humedad denominadas *Transducer Channel TEDS* y *User's Channel Name TEDS*. En la tabla N° 1 se muestran los valores establecidos para el sensor de humedad.

Tabla N° 1: Descripción de TEDS del sensor de humedad

User Channel Name TEDS		
Campo	Descripción	Valor
TEDSID	Identificación	03-04-00-0C-01-01
FORMAT	Define el formato de campo datos	04-01-00
TCName	Nombre del sensor "FTyCA-UNCa"	46-54-79-43-41-2D-55-4E-43-61
LENGHT	Largo, incluye el checksum	00-00-00-15
CHECKSUM	Suma de comprobación	FC-C5
Transducer channel TEDS		
TEDSID	Identificación	03-04-00-03-01-01
CALKEY	Capacidad de calibración del canal	0A-01-01
CHANTYPE	Tipo de canal (0=sensor)	0B-01-00
PHYUNITS	Nombre de la unidad física a medir, g/m ³	0C-0C-32-01-01-35-01-7A-

		36-01-7A
LOWLIMIT	Límite inferior de operación (10%)	0D-04-41-20-00-00
HILIMIT	Límite superior de operación (100%)	0E-04-42-C8-00-00
OERROR	Error, incertidumbre típica (2%)	0F-04-40-00-00-00
SELFTTEST	Auto test (sin implementar)	10-01-00
SAMPLE	Describe el modelo de datos de la señal muestreada: entero con 10 bits validos	12-09-28-01-00-29-01-02-2A-01-0A
UPDATET	Tasa de actualización del sensor, para 10 mtras/seg. (100 mS)	14-04-3D-CC-CC-CD
RSETUPT	Tiempo de preparación para lectura (25 µs)	16-04-37-D1-B7-17
SPERIOD	Tiempo que demora el sensor en tomar una muestra (100mS)	17-04-3D-CC-CC-CD
WARMUPT	Tiempo de estabilización, después de ser energizado (5 Seg)	18-04-40-A0-00-00
RDELAYT	Tiempo entre 2 comandos de lectura (llenar el buffer con 10 muestras) (100 mSeg)	14-04-3D-CC-CC-CD
SAMPLING	Define los atributos del muestreo (opera libremente sin pre-disparo)	1F-03-30-01-02
LENGHT	Largo	00-00-00-59
CHECKSUM	Suma de comprobación	F0-72

4.4. Interfaz Gráfica de Usuario (IGU)

La aplicación para la interfaz de usuario llamada *Sistema SHH-1*, se realizó en lenguaje visual basic 6.0 por la rapidez de implementación y depuración [6]. El diseño es sencillo y su apariencia se puede observar en la figura 3.

La IGU dispone de 4 menús:

- *Conexión:* desde acá se puede Establecer ó Cortar la conexión con el sensor a través de un puerto COM disponible en el PC y Salir de la aplicación.
- *Configuración:* contiene los parámetros para configurar el puerto COM.
- *TEDS:* desde este menú se puede acceder al manejo de las TEDS (Transducer Channel TEDS y/o User's Channel Name TEDS)
- *Ayuda:* Presenta una pantalla de Créditos de la aplicación.

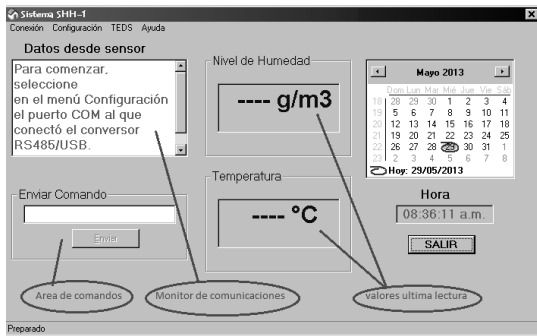


Figura 3: IGU SHH-1

En el recuadro debajo de la leyenda *Datos desde sensor* de la figura 3, se visualiza la información suministrada por el sensor. Los comandos IEEE 1451 se envían desde el sector denominado *Enviar Comando* y finalmente la humedad se visualiza en el área llamada *Nivel de Humedad*. Además, la aplicación dispone de un calendario y reloj en tiempo real, los que se actualizan con la fecha y la hora de la PC respectivamente.

La figura 4 muestra la ventana de la lectura de las TEDS. Se debe seleccionar una opción para leer y presionar el botón Leer.

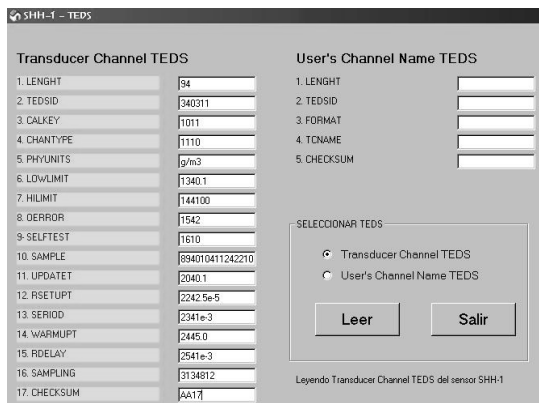


Figura 4: Ventana de lectura de TEDS.

4.5. Interconexión de sensores y PC

Los datos provistos por el sensor llegan al PC por un puerto COM disponible en él a través de un conversor UCOM® RS485/USB de la firma MICRO AXIAL (se puede emplear cualquier conversor RS485 to USB). Se debe conectar el conversor en algún puerto USB e iniciar el programa. Al energizar el sensor y conectarlo al conversor, se estará en condiciones de emplear el sistema. La figura 5 muestra la estructura de red utilizada y el conversor RS485/USB para el monitoreo y control desde una PC.

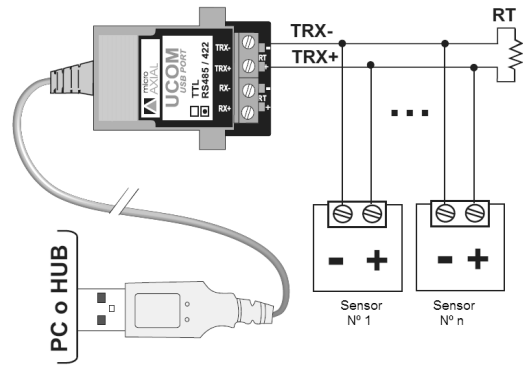


Figura 5: RS485 conexión half-duplex

La interfaz no requiere demasiados conocimientos informáticos. Aunque se trata de una primera versión, en esta se puede enviar diversos comandos definidos en secciones previas e interactuar con el sensor.

4.6. Comandos

Para acceder a la información de los sensores se han previsto una serie de comandos, estos responden a una estructura definida en los estándares IEEE 1451. Las tablas N° 2 y N° 3 muestran el formato de los comandos y la respuesta a los mismos.

Tabla 2: Estructura de los Mensajes de Comando

Byte	Contenido	Valor
1	ID transductor (octeto más significativo)	00
2	ID transductor (octeto menos significativo)	01
3	Clase de Comando	03
4	Función de Comando	01
5	Longitud (octeto más significativo)	00
6	Longitud (octeto menos significativo)	01
7 a N	Argumentos (dependientes del comando)	00

Donde:

- *ID transductor*: número de 16 bits del canal transductor destino del mensaje. Para nuestro prototipo con dos sensores este valor podrá ser 0001h y 0002h
- *Clase de comando*: definido en el estándar
- *Función de comando*: definida según la clase de comando que se utilice.
- *Longitud*: número de octetos dependiente del comando en el mensaje.
- *Argumentos*: este campo contiene la información definida en el comando. Existen

comandos que no tienen argumentos, como el de *reset* y el *leer_registro_de_estado*.

Un transductor genera un mensaje de respuesta bajo dos circunstancias. La primera es cuando un comando por sí mismo necesita de una respuesta, por ejemplo la lectura del registro de estado del sensor. La segunda, cuando el protocolo para los bits del registro de estado modifique algún bit como el de solicitud de servicio, evento o dato, etc.

El formato del mensaje de respuesta se muestra en la Tabla N° 3

Tabla 3: Estructura del Mensaje de respuesta

Byte	Contenido	Valor
1	Bandera de comando Éxito/Falla	01
2	Longitud (octeto más significativo)	00
3	Longitud (octeto menos significativo)	09
4 a N	Argumentos de respuesta (dependientes del comando)	00000000 40933333 41C800000

NOTA: En las tablas N° 2 y N° 3 los valores consignados corresponden al comando *leer_datos* del sensor 1

5. CONCLUSIONES

Hemos descrito una interfaz para adaptar un sensor común en un sensor inteligente basado en los estándares IEEE 1451.

La utilización de las TEDS simplifican el uso del transductor y la integración de funciones de acondicionamiento, y la estandarización de comandos para la lectura / escritura de transductores simplifica su integración a un sistema de control y/o monitoreo.

El uso de una interfaz adaptable y estandarizada, que agrega inteligencia al sensor común es una alternativa de bajo costo que proporciona una importante reducción en el esfuerzo de implementación de un sistema de control automático.

REFERENCIAS

Arjona L.; Gallina S. Pucheta J. Trabajo final de la carrera Ingeniería Electrónica “Desarrollo de un Sensor Inteligente de Humedad en Hoja para Aplicación en Riego de Precisión”, 2013

Chong, Chee-Yee & Srikanta P. Kumar (2003), Sensor networks: Evolution, opportunities, and

challenges, *em* ‘Proceedings of the IEEE’, Vol. 91, pp. 1247–1256

Elmenreich, Wilfried & Stefan Pitzek (2003), Smart transducers - principles, communications, and configuration, *em* ‘Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Intelligent Engineering Systems (INES)’, pp. 510–515

IEEE 1451.1, Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model. Approved, June (1999)

IEEE 1451.2, Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators- Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats. 1997

IEEE 1451.4, Standard (2004), IEEE Std 1451.4 - Mixed-Mode Communication Protocols

Bibliografía consultada

E sensors Inc. *Instruction Manual for IEEE 1451.4*, May 2004 First Edition

Ibrahim, N., “*Orthogonal Classification of Middleware Technologies*”, Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies, 2009. UBICOMM '09. Third International Conference on, páginas 46 -51. (2009)

Meneses, Erico Leo. *Una Arquitectura de Sensores Inteligentes Disparada por Eventos*, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Tesis aprobada el 6 de julio de 2007

Prytula L., *Sensor Inteligente*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2011.

John Mark, Paul Hufnagel, The IEEE 1451.4 Standard for Smart Transducers. Kistler Instrument Corporation

Mario Orizabal, *IEEE 1451.4 STANDARD AND PRACTICE*. Electrical Engineer FUTEK Advanced Sensor Technology

TEDS IEEE 1451.4 Plug & Play Sensores Inteligentes

<http://www.transducertechniques.com/plug-and-play-teds.aspx>. Fecha de acceso: 07/07/2013