

# Diseño de un nodo inteligente para instalaciones en vivienda

Sergio H. Gallina<sup>1</sup>, Juan P. Moreno<sup>2</sup>, Marcos Aranda<sup>3</sup>, Paola I. Beltramini<sup>4</sup>, Daniel Villagran<sup>5</sup>

(1) Departamento de Electrónica, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCA.  
sgallina@tecno.unca.edu.ar

(2) Departamento de Informática, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCA.  
jpmoreno@tecno.unca.edu.ar

(3) Departamento de Electrónica, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCA.  
markosdarioaranda@gmail.com

(4) Departamento de Electrónica, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCA.  
pbeltramini@tecno.unca.edu.ar

(5) Departamento de Electrónica, Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, UNCA.  
ldvillagran@hotmail.com

Fecha de recepción del trabajo: 22/11/2015

Fecha de aceptación del trabajo: 23/05/2016

**RESUMEN:** Este trabajo presenta una base para el desarrollo de nodos inteligentes que pueden ser aplicados a dar solución a diversos sistemas donde el procesamiento distribuido en tiempo real sea una condición limitante. Si bien la aplicación práctica sobre la que se ha trabajado en el presente proyecto en una red de nodos para una instalación domótica, se establecen las funcionalidades de los diferentes miembros del nodo, de tal forma que respondan al estándar IEEE 1451.0 y 1451.2 para permitir la interoperabilidad de los nodos, el reemplazo de los mismos con un mínimo de esfuerzo y la posibilidad de ser utilizados en diferentes ambientes con el solo cambio del software de la aplicación. Se definen las TEDS y los comandos, como así también las funciones que han de ser realizadas por un módulo de interfaz de transductor (TIM) y las características comunes de todos los dispositivos que implementan el TIM. Se especifica un conjunto de comandos para facilitar la configuración y el control de la TIM, así como la lectura y escritura de los datos utilizados por el sistema; y por último y para facilitar las comunicaciones con el TIM y con aplicaciones, las interfaces de programación de aplicaciones (API).

**PALABRAS CLAVE:** actuador, sensor, STIM, NCAP, transductor inteligente, hoja electrónica de datos, TEDS.

## DESIGN OF INTELLIGENT NODE FOR HOUSING FACILITIES

**ABSTRACT:** This paper introduces the basis for developing intelligent nodes that can be applied to solve various distributed systems where real time processing is a limiting condition. While the practical application on which this project has worked is a network of nodes for home automation installation, the functionality of the different node members are established, so that IEEE 1451.0 and 1451.2 standards can be reached. This is meant to allow interoperability between nodes, to replace them with a minimum of effort and to allow their use in different environments by only changing the application software. TEDS and commands are defined, as well as the functions to be performed by a transducer interface module (TIM) and the common characteristics of all devices that implement TIM. A set of commands is specified for easy configuration and control of TIM, as well as reading and writing of data used by the system; and finally and to facilitate communications with the TIM and applications, application programming interfaces (API) as well.

**KEYWORDS:** actuator, sensor, STIM, NCAP, smart transducer electronic data sheet TEDS

## 1 SÍNTESIS DE LOS OBJETIVOS DE LA PROPUESTA

El desarrollo de este trabajo se realiza bajo la premisa de desarrollar nodos inteligentes con capacidad de controlar los artefactos de una vivienda o utilizarse para dar solución a diferentes sistemas donde el procesamiento distribuido en tiempo real sea una condición limitante. Estos nodos tienen la capacidad de ajustarse automáticamente y en forma efectiva a las aplicaciones asociadas a ellos, para reducir en gran medida la posibilidad de errores humanos, así como las operaciones de red ineficientes y que consumen tiempo.

## 2 CONCEPCIÓN DEL PROBLEMA TECNOLÓGICO ABORDADO

El problema tecnológico se concibe como una red de dispositivos destinados a brindar confort a los habitantes de una casa o residencia. Los dispositivos, deben ser capaces de realizar una función específica (iluminar, atender el sistema de audio, calefaccionar) y deben además, estar entrelazados entre sí por un determinado medio físico y utilizar un mismo protocolo para comunicarse entre sí, esta transferencia de información es generalmente de baja velocidad y requieren de un bajo ancho de banda

Pero deben responder en tiempo real. Los dispositivos seguramente requerirán conexiones a una red mayor para enviar o recibir comandos.

El entrelazado o la interconexión mediante una red de baja velocidad, podrá ser cableada o inalámbrica, cada una con sus ventajas y desventajas. En la actualidad no existe ninguna normativa que regule la disposición de dicho cableado y los puntos de acceso al mismo.

Para poder controlar remotamente el edificio, además de esta red domótica interna, se deberá instalar una red de acceso a internet, esta red de datos se pretende que sea totalmente independiente de la red de control. Y permitirá además del acceso a internet, la comunicación de datos entre diferentes dispositivos hogareños tales como cámaras digitales, televisores digitales, computadoras).

La arquitectura de un sistema domótico, como la de cualquier sistema de control, especifica el modo en que los diferentes elementos de control del sistema se van a ubicar. Existen dos arquitecturas básicas: la arquitectura centralizada y la distribuida. Para el desarrollo del presente proyecto se ha considerado conveniente la Arquitectura Distribuida, haciéndose necesario para su implementación, el desarrollo de nodos inteligentes estandarizados.

### 3 IMPACTO ESPERADO

Desde el punto de vista de automatización, la Domótica es un concepto interdisciplinario que se refiere a la integración de las distintas tecnologías en el hogar mediante el uso simultáneo de las telecomunicaciones, la electrónica, la informática y la electricidad; con el fin de mejorar la calidad de vida de los seres humanos.

Actualmente existe una gran diversidad de dispositivos destinados a conformar una red de sensores, existen desde plataformas comerciales con potentes capacidades, hasta diseños electrónicos libres con menores prestaciones. Los dispositivos varían en aspectos tales como procesamiento, memoria, almacenamiento, protocolo de comunicación, fuente de energía, sin embargo, la principal diferencia se encuentra en sus capacidades para interactuar con su entorno, ya que poseen diferentes sensores y actuadores. Toda esta diversidad los hace sumamente heterogéneos haciendo muy difícil la tarea del desarrollador, del instalador y finalmente de quien realice el mantenimiento.

Aquí se propone un modelo de interoperabilidad para la integración de sistemas computacionales basados en redes de nodos inteligentes. Los principales aportes de este trabajo son:

- Un modelo de interoperabilidad middleware con una arquitectura multicapas para la integración de

Sistemas Multi-Agente con las siguientes características:

- Conformidad a los estándares IEEE 1451.
- Interoperabilidad en la utilización de distintos dispositivos, resolviendo la heterogeneidad que existe en el mercado por la diversidad de sensores y actuadores.
- Ontología del entorno a través de la cual se representa el conocimiento proveniente del entorno y se establecen los formalismos de comunicación para los agentes que compongan el modelo.
- Un prototipo en el área de la domótica.

### 4 CASOS DE PLATAFORMAS SIMILARES

Las propuestas para este tipo de redes domiciliarias, son muchas y variadas, como las basadas en comunicaciones por cable, inalámbricas, propietarias o libres. A modo resumen se mencionan algunas de estas tecnologías y se remite al lector a la web oficial de cada uno para mayor información.

- *Universal Plug and Play*
- *ServiceLocationProtocol*
- *Jini*
- *Task Computing Enviroment*
- *Open Service Gateway Interface*
- *X10*
- *EIB/Konnex*
- *Lonworks*
- *ZigBee*
- *HomePlug*

### 5 NORMATIVA PARA EL DESARROLLO DE NODOS ESTANDARIZADOS

#### 5.1. Familia de estándares IEEE 1451

En Septiembre de 1993, el *Instituto Nacional de Estándares y Tecnología* (NIST) y el comité del *Instituto de Ingenieros Electrónicos y Eléctricos* (IEEE), se reunieron para tratar sobre los interfaces en las comunicaciones de sensores inteligentes y la posibilidad de crear un interfaz estándar. Se llegó al acuerdo de crear una interfaz común de comunicación para transductores inteligentes. Desde entonces, se han formado distintos grupos de trabajo para abordar diferentes aspectos de la norma de la interfaz.

Los grupos de trabajo crearon el concepto de sensores inteligentes para controlar la interoperabilidad de redes. El propósito subyacente de esta familia de normas es permitir a los fabricantes que los elementos construidos de un sistema sean interoperables. Para lograr este objetivo, la familia IEEE 1451 divide las partes de un sistema en dos categorías de dispositivos. Uno de ellos es un *procesador de aplicaciones capaz de funcionar en red* "NCAP" (Network Capable Application Processor),

que funciona como una puerta de enlace entre la red de los usuarios y el transductor, y el otro, el *módulo de interfaz del transductor* “TIM” (Transducer Interface Module). El NCAP es un dispositivo que tiene dos interfaces de comunicación: una con la red y otra con el transductor. La interfaz física para los usuarios de la red no se especifica en cualquiera de esta familia de normas.

Los distintos fabricantes pueden construir NCAPs y TIMs, y si ambos cumplen con IEEE 1451, serán interoperables.

### 5.2. Miembros pertenecientes a IEEE 1451

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 y a partir del año 2007, los IEEE 1451.5 y IEEE 1451.6.

A continuación se realiza una breve descripción de los miembros de la familia de normas IEEE 1451:

*IEEE-1451.1*, aprobado en 1996, define un modelo de objeto del software común para el NCAP, que tiene distintas versiones dependiendo de la red y el tipo de módulo de los transductores (Artaud et al, 2004 y NIST-1451, 2008).

*IEEE-1451.2* aprobado en 1997, indica la forma en que los transductores son incluidos en el módulo interfaz del transductor inteligente STIM, el cual se conecta al NCAP por medio de una conexión punto a punto (P2P). También define el formato electrónico de las especificaciones del transductor, llamado Hoja de Datos Electrónica del Transductor - TEDS (Transducer Electronics Data Sheet). Proporciona ocho estructuras de TEDS, de las cuales dos son obligatorias y seis son opcionales.

*IEEE-1451.3* aprobado en el 2003, define la forma en que los transductores son incluidos en el STIM, conectado al NCAP por medio de una conexión multipunto. También define el formato electrónico de las especificaciones del transductor TEDS, por sus siglas Transducer Electronics Data Sheet (TEDS) (Artaud et al, 2004 y NIST-1451, 2008).

*IEEE-1451.4* aprobado en el 2004, define la forma en que se agrega la función de auto identificación a sensores y actuadores analógicos. Define el concepto de un transductor de modo mixto que alimenta una interfaz analógica y digital. Y también define el formato electrónico de las especificaciones del transductor TEDS (Artaud et al, 2004 y NIST-1451, 2008). Este estándar está diseñado para proporcionar interoperabilidad, permitiendo mecanismos *plug&play* para transductores.

*IEEE 1451.0*, aprobado en el 2007, contiene un nuevo estándar que define un conjunto de funciones comunes, protocolos de comunicación y formatos TEDS para varias formas de comunicación. Con el propósito de

lograr la interoperabilidad del estándar y simplificar su aplicación.

Es muy importante señalar que la estructura de las TEDS especificadas en esta parte del estándar varía con respecto a la que se define tanto en IEEE 1451.2, IEEE 1451.3 y IEEE 1451.4. No obstante sí que tienen un punto para entenderse unas con otras por parte de las APIs.

*IEEE-1451.5* aprobado en el 2007, establece el estándar para una comunicación inalámbrica para tecnologías Wi-Fi, bluetooth, Zigbee y 6LowPAN, y el formato de la información para el transductor. También define el formato electrónico de las especificaciones del transductor TEDS, de acuerdo al formato IEEE-1451 (NIST-1451, 2008 y IEEE P1451.5 Project, 2008).

*IEEE-P1451.6* actualmente se encuentra en desarrollo, el propósito de este estándar es definir la implementación de los conceptos del TEDS de sobre una red con CAN. El propósito es desarrollar un puerto de entrada simple para una red de sensores en cascada combinando las especificaciones del IEEE 1451 y el CAN (NIST-1451, 2008 y IEEE P1451.5 Project, 2008).

P1451.7, se trabaja desde el 2007, el propósito de este estándar es proveer métodos e interfaces para interconectar las tarjetas de radio identificación, Radio Frequency IDentification (RFID) y transferencia de información entre la infraestructura RFID. También se trabajará en la definición de dispositivos y equipos para la interoperabilidad.

## 6 METODOLOGIA DE TRABAJO

El presente proyecto se ha desarrollado en 6 etapas o fases:

- Especificación de los objetivos, estudio de propuestas similares: Descripción de las necesidades y diseño básico o diagrama en bloques. Conocimiento del estado del arte en la materia.
- Diseño del prototipo del hardware: Se desarrolló un nodo estandarizado de usos generales, basados en una red cableada con protocolo RS485 o en la propuesta del MIT denominada Internet 0.
- Diseño del modelo del software y simulación del modelo, mediante de herramientas informáticas: Se modela la idea proyecto mediante de herramientas informáticas y se valida la misma. Se deben estudiar los modelos matemáticos a aplicar en el sistema de control. El desarrollo se basó en un modelo de 3 capas. Capa superior o número 3: Aplicación asociada al nodo; Capa número 2: Drivers del usuario y librerías provistas por el fabricante del microcontrolador; y finalmente la Capa número 1 que contiene el firmware del nodo.
- Codificación o programación: La programación se realizara en lenguaje C

- e. Compra de componentes. Sensores y actuadores: Compra directa, licitación y/o concursos de precios, según los procesos administrativos que correspondan.
- f. Test a nivel de laboratorio: Se han realizado pruebas para detectar errores de diseño tanto en la eficacia de la aplicación en particular como en el desempeño de la red.

## 7 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE

### 7.1. Arquitectura para redes domóticas –Una Propuesta

Se describe la propuesta de una arquitectura basada en nodos inteligentes, abordando sus componentes, características y aplicaciones, tomando como base los estándares IEEE 1451.

Esta arquitectura se compone de múltiples nodos, transductores inteligentes conectados a una red, formando un grupo, como se ve en la figura 1.

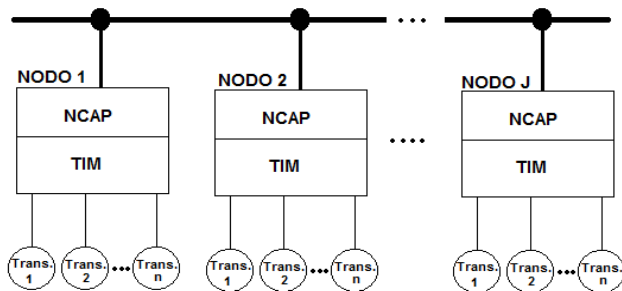


Figura 1: Arquitectura de una red de nodos

Cada grupo tiene un nodo principal o maestro con la capacidad de procesamiento superior con el fin de

gestionar los restantes nodos del grupo. Cómo soporte de tolerancia a fallas, pueden existir nodos maestros secundarios, redundante, por si el principal falla. Los grupos están conectados a una red a través de su dispositivo de supervisión los nodos maestros y pueden realizar actividades de configuración de los sensores y de testeo de todo el sistema

### 7.2. Estructura del nodo inteligente

La estructura de los nodos se ha desarrollado, para este primer prototipo, en forma modular, la cual se describe en la figura 2, Cada nodo está dividido en tres partes: a) NCAP o modulo encargado de las comunicaciones de red, b) TIM o interface de transductores y c) Los transductores inteligentes

#### 7.2.1. NCAP

Este módulo está basado en un microcontrolador, se encarga de las comunicaciones de red y de las comunicaciones con la interface de transductores. Como se muestra en la figura 3, el NCAP incluye el hardware necesario para la comunicación sobre una línea de alimentación de CC basada en el protocolo internet 0, la conexión con el TIM basada en la interface cableada de 10 hilos (IEEE 1451.2) y una memoria EEPROM externa.

#### 7.2.2. TIM

El TIM al igual que el NCAP se centra en un microcontrolador y una memoria externa, esta memoria se dimensiona de forma que pueda contener la TED del TIM y una copia de las TEDS de cada transductor, a los efectos de reducir la transmisión de mensajes durante la operación normal.

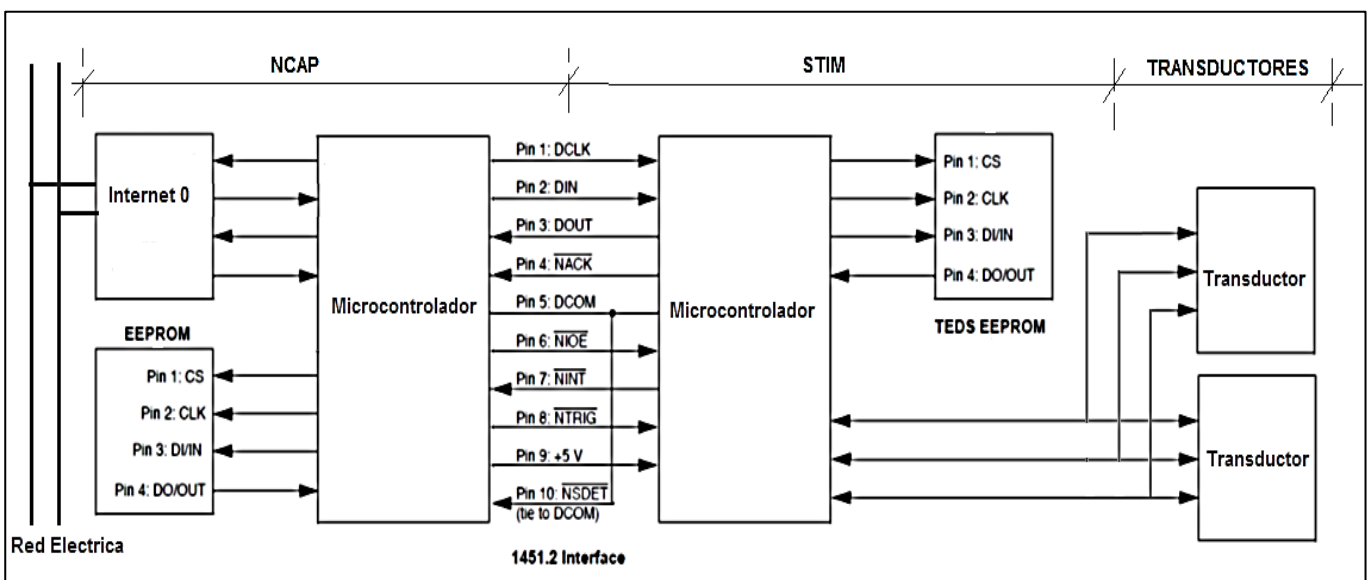


Figura 2: Estructura de un nodo

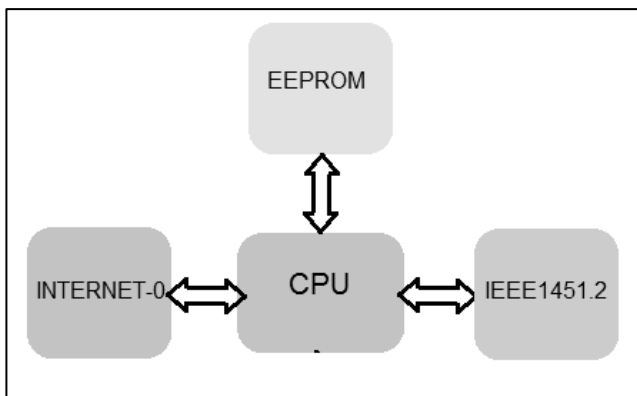


Figura 3: Diagrama en bloques del prototipo NCAP

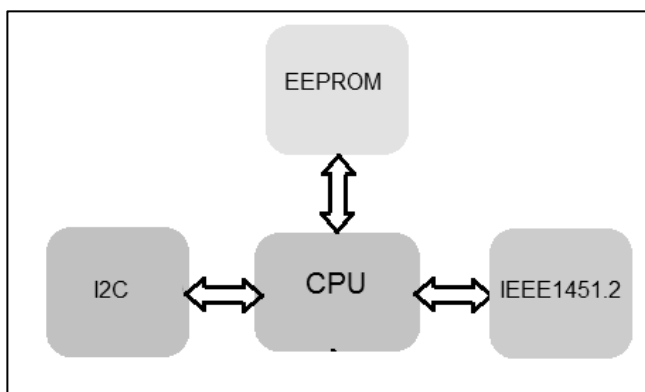


Figura 4: Diagrama en bloques del prototipo TIM

La comunicación NCAP-TIM se realiza mediante la implementación del estándar IEEE1451.2, es decir mediante una conexión física de 10 hilos. Esto limita a que solo un TIM se conectara a un NCAP, lo cual no resulta un problema para la arquitectura de nodos planteada.

La comunicación TIM-Transductores se realiza mediante el protocolo I2C, se ha considerado también la posibilidad de implementar la comunicación mediante SPI pero la limitante en la cantidad de pines del microcontrolador decidió el uso de I2C.

El TIM provee la tensión de alimentación de la lógica de los transductores, pudiendo estos requerir tensiones especiales para su operación, estas se entregaran por fuentes independientes.

Finalmente diremos que en el TIM se almacenan las hojas de datos electrónica (TEDS) que describen a esta interfaz. Están diseñadas para ser almacenadas en una memoria no volátil del TIM. Si por algunas razones no se puede almacenar directamente en el TIM, pueden ser asignados en otras memorias, y en este caso habla de TEDS Virtuales.

Los TEDS definidos en esta norma son variados, pero solo algunos de ellos se llevarán a cabo en todos TIM:

- Meta-TEDS
- TransducerChannel- TEDS

• Phy-TEDS

La Meta-TEDS proporciona algunos parámetros temporales, en el peor de los casos, son utilizadas por el NCAP para setear su propio timeout (su tiempo de espera) y entender cuando el TIM no responde o caducar con sus exigencias. Esta TEDS proporciona información común a todos los transductores disponibles (transducer channel) y la información requerida para el acceso a los transductores. Se lee con un comando de consulta *QUERYTEDS* o Leer *READTEDS*. El argumento de comando identifica los TEDS que serán interrogados.

Por lo general, esta TEDS es de sólo lectura para evitar cambios inesperados, los comandos para esta *TEDSWRITETEDS* y *UPDATETEDS* no han sido habilitados.

Para realizar una implementación sencilla sería suficiente con implementar solo algunos campos de información, como ejemplo se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Estructura de una Meta-TEDS Simple

Campo	Descripción	Tipo de Dato	Nro. de Octetos	Valor
	Longitud del Data block	UInt32	4	
TEDSID	Identificación cabecera TEDS	UInt8	1	03-04-00-01-01-01
UUID	Identificador único TIM	UUID	10	04-0A-**-**
Ohold Off	Time-out de una operación (0,5 seg)	Float32	4	04-0A-3F-00-00-00
SHold Off	Tiempo de espera entre operaciones (100 µseg)	Float32	4	
Test Time	Tiempo para ejecutar un self-test (5 seg)	Float32	4	0C-04-C0-A0-00-00
Max Chan	Nro. de canales (xx canales conectados)	UInt16	2	0D-02-00-xx
	Checksum del Data block	UInt32	2	

El UUID es un tipo de datos que consta de 80 bits con números enteros (Int16), considerado como una entidad global. La tabla 2 muestra la descripción de este identificador para nuestro caso.

La Phy-TEDS depende del medio de comunicación utilizado para la comunicación entre TIM y NCAP. No se especifica en 1451.0, pero está relacionado con la

tecnología de transmisión, se define por los otros miembros de la familia 1451.X.

Tabla 2: Componentes de identificador único UUID

Campo	Bit	Descripción	Valor adoptado
Norte/Sur	1	1=norte / 0=sur	'0'
Latitud	20	Latitud	'0000000000000000 00000'
Este/Oeste	1	1=este / 0=oeste	'0'
Longitud	20	Longitud	'0000000000000000 00000'
Fabricante	4	Información del fabricante	'1111'
Año	12	Año de fabricación (2014)	'011111011110'
Secuencia/Fecha	22	Fecha + nro. de serie, 2240120	1000100010111001 111000

### 7.2.3. Transductores

Para el manejo de los transductores (actuadores – sensores), se ha diseñado una interfaz que permite unificar las comunicaciones entre ellos y el TIM, mediante el protocolo I2C. Esta interfaz convierte a un transductor común en uno inteligente mediante el agregado de las TEDS y la adición de hardware. En la figura 5, se muestra el diagrama en bloques de esta interfaz que permite mostrar al nodo todos transductores ideales y consecuentemente independizar a la aplicación de las particularidades de los transductores.

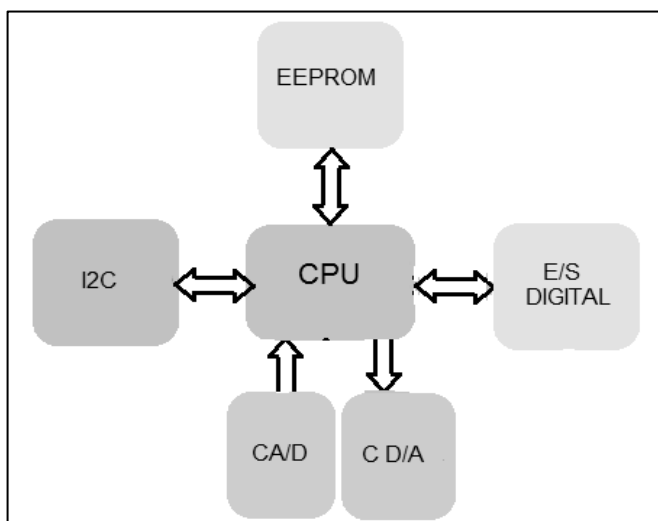


Figura 5: Diagrama en bloques de un transductor estandarizado

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

Las Hojas electrónicas de datos del transductor (TEDS), constituyen el elemento central en la construcción de un transductor inteligente. Son bloques de información en un formato definidos y corresponden a la versión electrónica de las hojas de datos de los transductores mismos y contienen toda la información necesaria para su gestión. A continuación se describen brevemente las TEDS implementadas en las interfaces desarrolladas, los datos almacenados dependerán del tipo de sensor / actuador conectado a la interfaz.

Los TEDS almacenados en esta interfaz del transductor son dos:

- TransducerChannel- TEDS
- TransducerName- TEDS

El TransducerChannel-TEDS proporciona información detallada de cada transductor. Se proporciona las cantidades que se miden o controlan por el transductor, el *rango* en el que el transductor opera, las características de E/S digital, información sobre el tiempo de interrogación.

Además de ser interrogado por los comandos *QUERYTEDS* o *READTEDS* de consulta y lectura se implementa en modalidad de sólo lectura para no sufrir efectos secundarios de la incorrecta utilización

La TransducerName (Nombre del transductor)-TEDS: Proporciona un área donde se almacena el nombre que el usuario utiliza para identificar el transductor.

Además de las mencionadas, consideradas obligatorias, se mencionan TEDs de aplicación opcional, entre las cuales tenemos (Estas TEDS no fueron implementadas en el prototipo desarrollado):

- CalibrationTEDS
- Frequency Response TEDS
- Transfer FunctionTEDS
- Text-basedTEDS

### 7.3. Implementación

La utilización del mismo microcontrolador e idénticas memorias para todas las placas se ha resuelto por una cuestión de simplicidad en el diseño del circuito impreso y una reducción en la variedad de componentes.

### 7.4. Registros de estado

Para el control de la operatoria se han implementado dos registros de estado, uno para el TIM y otro para cada uno de las interfaces de los transductores. Ambos tienen 32 bits de ancho. Un registro se llama el registro Condición. Se puede leer usando el comando *read status-conditionregister*. Contiene el estado actual de los atributos. El segundo registro es el registro de eventos. Puede leerse mediante el comando *Read-Event Status Register*. Algunos bits en el registro de estado

del evento representan hechos reales, tales como errores de comando.

Cada bit en el registro de estado de evento representa la ocurrencia o no, de un evento en particular. Un uno en la posición de bit correspondiente representará a la presencia de una condición o un evento que ha ocurrido desde la última lectura de estado.

### 8 REQUERIMIENTOS Y ESPECIFICACIONES DEL SOFTWARE

En relación a la estructura del software, el mismo se ha desarrollado en capas, las cuales se pueden ver en los esquemas mostrados en la figura 6.

Tabla 3: Bits de los registros de estado del TIM y del los canales transductores

Bit	Registro de estado del TIM	Registro de estado de los canales transductores
0	Solicitud de servicio	Solicitud de servicio
1	TEDS modificada	TEDS modificada
2	Comando Invalido	Reservado
3	Comando Rechazado	Comando Rechazado
4	Dato o eventoperdido	Dato o eventoperdido
5	Dato/Evento	Dato/Evento
6	Error de Hardware	Error de Hardware
7	No operativo	No operativo
8	Error de Protocolo	Reservado
9	Dato disponible / dato procesado	Dato disponible / dato procesado
10	Ocupado	Ocupado
11	Falla de calibración	Falla de calibración
12	Falla de auto-diagnostico	Falla de auto-diagnostico
13	Datofuera de rango	Datofuera de rango
14	No usado	No usado
15	No Usado	No usado
16	Reservado	No es la primera lectura de los datos
17-27	Reservado	Reservado
28-31	No usado	No usado

(Fuente estándar IEEE1451)

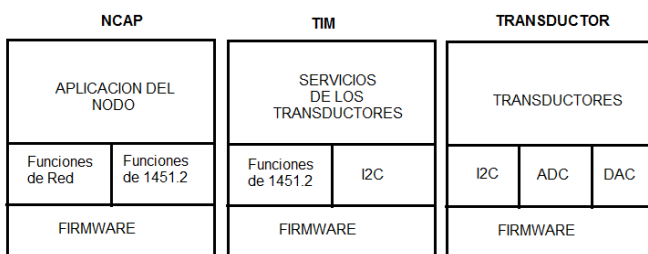


Figura 6: Capas de software

#### 8.1. Estados operativos

El estándar utilizado define diferentes estados de operación para el TIM y para cada uno de los canales transductores (TrCh).

En la figura 7 se muestra un diagrama de estados de alto nivel para un canal o transductor, hay dos estados de funcionamiento básicos para un TrCh después de que salga de la inicialización. El TrCh entra en el estado "Transducer Idle" cuando sale de la inicialización y puede pasar al estado "transducerOperating" tras la recepción de un comando, en este estado comenzara a capturar datos a menos que requiera de un disparo "trigger". Un TrCh acepta la mayoría de comandos cuando está en el estado inactivo. Finalizada la operación por alguna de las causas (finaliza el comando, se envía el TIM a sleep o aparece una señal de reset) el sistema pasa nuevamente a libre (Gallina, 2014).

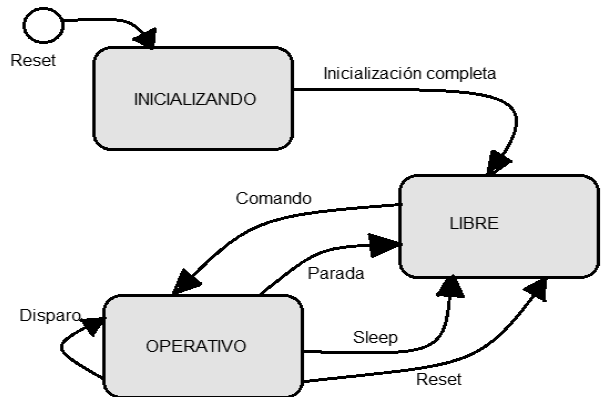


Figura 7: Estados operativos de los canales transductores

Como se muestra en la Figura 8, un TIM tiene también tres estados. Un TIM se coloca en el estado de inicialización por un reset o por el encendido del nodo, finalizada la inicialización se pasa al estado activo (TIM active). Un TIM se puede colocar en estado de sleep mediante un comando "sleepcommand". El único comando que un TIM aceptará cuando en estado de sleep es el Despertar (Wake-up) que lo vuelve al estado activo. (Gallina, 2014).

El modelado y la codificación de estas máquinas de estado se ha realizado con herramientas de software denominado VusalState®.

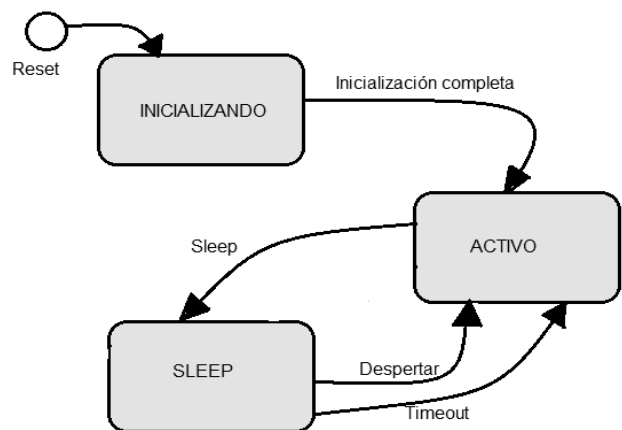


Figura 8: Estados operativos del TIM

### 8.2. Lógica de solicitud de servicio

Las solicitudes de servicio se envían desde unTIMaNCAP cuando alguna condición existe dentro delTIMque requiere atención. Son más o menos análogas a las interrupciones en las computadoras. Sin embargo, a diferencia de las interrupciones, las solicitudes de servicio no tienen ningún mecanismo independiente para comunicarle al NCAP que la condición existe, es el NCAP quien debe verificar periódicamente la existencia de esta solicitud. Esto significa que el NCAP no es capaz de responder dentro de un tiempo mínimo a una solicitud de servicio.

### 8.3. Estructura para transmitir datos (NCAP-TIM)

Los mensajes pueden contener hasta 65.535 octetos más los octetos de cabeceras. Sin embargo, las capas de enlace de datos y física de la pila de protocolo transmiten paquetes. La longitud máxima del paquete se define en el estándar que define la capa física y de enlace de datos. Si el mensaje es demasiado largo para caber en un solo paquete, es responsabilidad de la capa de enlace de datos en la pila de protocolos romper los mensajes en paquetes múltiples para la transmisión. Normalmente los mensajes son iniciados por el NCAP y el TIM responde pero en algunas ocasiones el TIM puede ser el iniciador de los mensajes. El formato de un mensaje de comando se proporciona en la Tabla 4.

Tabla 4: Estructura de un mensaje de comando

Octeto							
7	6	5	4	3	2	1	0
Nro. de canal transductor (octeto más significativo)							
Nro. de canal transductor (octeto menos significativo)							
Clase de Comando							
Función del comando							
Largo (octeto más significativo)							
Largo (octeto más significativo)							
Octetos dependientes del comando							

(Fuente estándar IEEE1451)

Ante una orden o mensaje, el TIM debe responder en un formato estandarizado, una descripción del formato de este mensaje se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5: Estructura de un mensaje de respuesta a un comando

Octeto							
7	6	5	4	3	2	1	0
Bandera de éxito / falla							
Largo (octeto más significativo)							
Largo (octeto más significativo)							
Octetos dependientes del comando							

(Fuente estándar IEEE1451)

### 8.4. Mensajes Iniciados Por El TIM

El formato de mensaje de un mensaje que es iniciado por un TIM se proporciona en la Tabla 6.

Tabla 6: Estructura de un mensaje Iniciado por el TIM

Octeto							
7	6	5	4	3	2	1	0
Nro. de canal transductor iniciador (octeto más significativo)							
Nro. de canal transductor iniciador (octeto menos significativo)							
Clase de Comando							
Función del comando							
Largo (octeto más significativo)							
Largo (octeto más significativo)							
Octetos dependientes del comando							

### 8.5. Comandos

Los comandos se dividen en dos octetos. El octeto más significativo se utiliza para definir la clase del comando y la menos significativa, llamada función del comando, especifica un comando dentro de la clase. Ver tabla 6.

Tabla 6: Estructura de un comando

7	0	7	0
Clase de comando		Función del comando	

(Fuente estándar IEEE1451)

Un TIM puede generar una respuesta a un comando bajo cualquiera de las dos circunstancias. La primera circunstancia es cuando el propio comando requiere una respuesta. Un ejemplo de esto es un comando de lectura de una TED, la segunda circunstancia es cuando el protocolo de estado de eventos (Status-eventprotocol) está activado. En este caso el canal transductor o el TIMtransmitirán cada vez que hay un cambio no enmascarado en el registro de estado.

## 9 MECANISMOS PARA EL INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE NODOS

El protocolo de autenticación de nodos y el intercambio de datos propuesto en este trabajo tiene como objetivo establecer la comunicación entre dos nodos, para lo cual, la estrategia propuesta consiste en construir primero, una asociación de confianza entre los nodos, y luego se podrán iniciar las comunicaciones. Para ello un primer nodo, forma ya parte de la red en operación y adopta el rol de nodo maestro.

En este desarrollo no se ha tomado en consideraciones cuestiones de seguridad para disminuir los costos de autenticar mensajes con firmas digitales u otros mecanismos basados en llave pública. No obstante al utilizar códigos MAC para cada nodo, se podrá implementar, en el futuro, un proceso de autenticación basado en este código.

Se describe sintéticamente el mecanismo de intercambio de información entre nodos, distinguimos dos situaciones diferentes: a) el proceso de auto identificación del nodo en la red y b) nodos en operación normal

- a) Auto identificación de un nodo en la red



Este escenario puede presentarse a raíz de la agregación de nuevos nodos a la red o por la necesidad de un nodo para establecer nuevas rutas como consecuencia de cambios en la topología.

Para esta primera situación, existen diversos protocolos que facilitan la obtención de la dirección IP de un equipo. A estos protocolos se les suele denominar protocolos de ‘autoconfiguración de red’. En nuestro caso podemos resumir su funcionamiento mediante el diagrama de secuencias de la figura 9.

- El nuevo nodo que se conecta a la red y desea saber su dirección IP, obtiene la dirección MAC de su TEDS; esta dirección consta de seis bytes que identifican de manera unívoca cada NCAP.

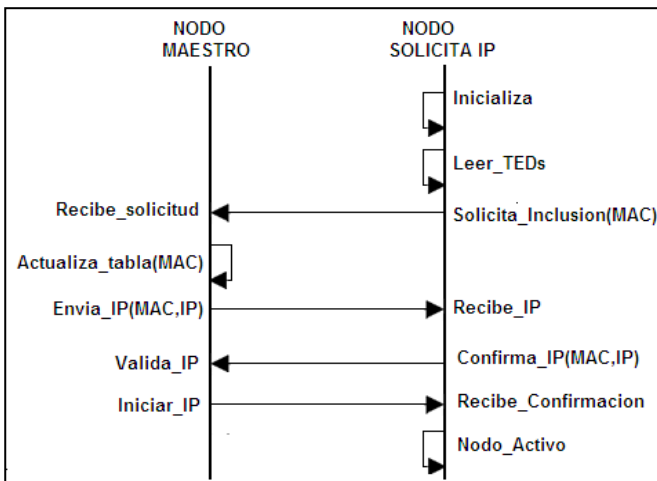


Figura 9: Auto identificación de un nodo en la red

- El nodo manda un paquete solicitando su IP; el paquete va dirigido a la dirección de *broadcasty* contiene su dirección MAC.
- El nodo maestro de la red recibe la solicitud y contesta informando al cliente su dirección IP. Para ello el nodo maestro posee una tabla que asocia a cada MAC una dirección de IP, la cual puede estar ente los valores 192.168.0.0 y 192.168.0.255.
- El nodo cliente confirma la recepción reenviando su MAC e IP.

- El nodo maestro da la orden de inicio, con esto el nuevo nodo puede comenzar a enviar datos a la red.

Los mensajes que se intercambian los nodos respetan una estructura fija con largo variable dependiendo de los parámetros que requiera la función. La Figura 10 muestra la estructura del paquete de *Solicita\_Inclusion* enviado por un nuevo sensor para su inclusión en la red como un nuevo nodo operativo. Debe observarse que las direcciones de destino y origen se encuentran en cero.

El nuevo nodo a ser conectado a la red, utiliza el campo *dirección funcional* para indicar el paquete como una solicitud de inclusión de un nuevo nodo a la red y el campo parámetro para enviar su identificación única (MAC).

La figura 11 muestra la estructura del paquete *Envia\_IP*, enviado por el nodo maestro, que contiene la configuración inicial para el nuevo nodo conectado a la red. El nodo maestro utiliza el campo *IP\_destino* para la IP asignada al nodo, el campo *IP\_origen* para indicar su propia IP, la *dirección funcional* indica el comando de asignación de IP y el campo *parámetros* contendrá la dirección MAC.

Este nuevo nodo esclavo confirmara la recepción mediante el mensaje *Confirma\_IP*. Por último el nodo maestro pone al nodo en operación, mediante el mensaje *Iniciar\_IP*.

- b) Transmisión/Recepción de mensajes en operación normal

Para estas operaciones se ha elegido el modelo editor / suscriptor por su alto grado de desacoplamiento, y por la posibilidad de transmisión asíncrona para el intercambio de información entre los nodos. Cada mensaje enviado por un editor tiene identificadas las direcciones de emisor y destinatario; el mensaje se transmite (*broadcast*) a través de la red. Al recibir un mensaje nuevo, los suscriptores revisan el checksum y analizan la dirección de destino. Si el nodo está interesado en el mensaje, se procesa, de lo contrario, simplemente se descarta mediante un mensaje de *error*.

00000000 <sub>h</sub>	00000000 <sub>h</sub>	04 <sub>h</sub>	0F <sub>h</sub>	00 <sub>h</sub>	xxxx <sub>h</sub>	xx <sub>h</sub>
IP DESTINO	IP ORIGEN	LARGO	DIRECCION FUNCIONAL	DIRECCION TRANSDUCTOR	PARAMETROS	CS
32 bits	32 bits	8 bits	8 bits	8 bits	16 bits	8 bits

Figura 10: Estructura de un mensaje *Solicita\_Inclusion* publicado en la red por un nodo nuevo

xxxxxxxx <sub>h</sub>	xxxxxxxx <sub>h</sub>	04 <sub>h</sub>	11 <sub>h</sub>	00 <sub>h</sub>	xxxx <sub>h</sub>	xx <sub>h</sub>
IP DESTINO	IP ORIGEN	LARGO	DIRECCION FUNCIONAL	DIRECCION TRANSDUCTOR	PARAMETROS	CS
32 bits	32 bits	8 bits	8 bits	8 bits	16 bits	8 bits

Figura 11: Estructura de una configuración de un nuevo nodo esclavo

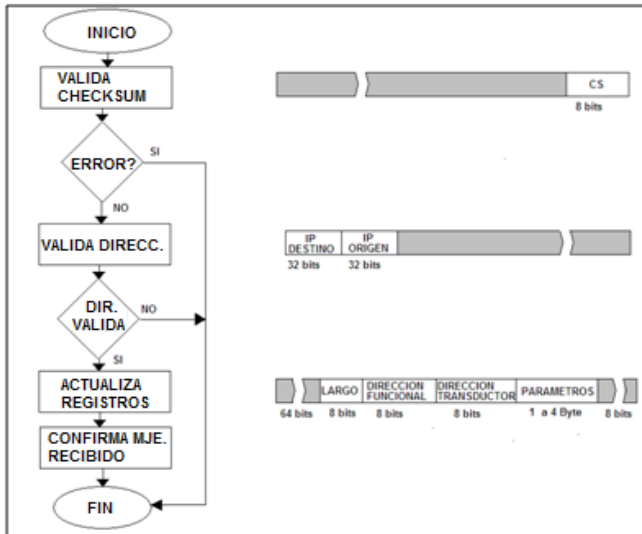


Figura 12: Estructura del mensaje y mecanismo de recepción

En la figura 12 se muestra el proceso de recepción de mensaje; si el proceso es exitoso, la dirección funcional o comando, junto con la dirección del transductor y los parámetros se guardan en registros intermedios a la espera de ser procesados por la aplicación.

### 10 LA APLICACION

Para el desarrollo de la aplicación (productiva) del nodo, el firmware del NCAP pone a disposición del programador una serie de funciones las cuales se agrupan en tres categorías, como se indica en la tabla

Tabla 7: Categorías de funciones del NCAP

MODULO	DESCRIPCION
Servicios de los transductores	Serán utilizadas para medición y control de parámetros, permiten interactuar con el sistema. Contiene además funciones para descubrir Canales transductores conectadas al TIM. Escribir, gestionar el acceso alTIMy la lectura y escritura de las TEDS
Comunicaciones con el entorno (RED)	Estas funciones permiten el envío y la recepción de mensajes. En la Red de datos
Comunicaciones con el TIM	Implementación del protocolo IEEEp1451.2. Transferencia de mensajes entre el NCAP y el TIM

Entre las funciones de la categoría Servicios de los transductores podemos mencionar las funciones implementadas (corresponden a una pequeña parte de las descritas en el estándar IEEE1451)

- Abrir un canal transductor → Open
- Cerrar un canal transductor →Close
- Bloquear un canal transductor →Lock
- Desbloquear un canal transductor →UnLock

- Leer un dato de un sensor →ReadData
- Escribir un dato en un transductor →WriteData
- Borrar el buffer de un canal transductor → Clear
- Escribir una TED →WriteTeds
- Leer una TED →ReadTeds

### 11 CONCLUSIONES

Finalizado el proyecto “Desarrollo de una Plataforma de Control de Entornos Residenciales”, se ha podido definir una propuesta de estandarización de nodos con aplicaciones en domótica pero que podría ser adaptado a diferentes redes de dispositivos donde la tasa de transferencia de datos sea baja, pero la interdependencia entre ellos sea un requerimiento importante.

Si bien el prototipo desarrollado se basó en placas y microprocesadores específicos e independientes para cada bloque del nodo (NCAP-TIM-Transductor), dada la alta capacidad de prestaciones de los nuevos microcontroladores, se podrá implementar todo o al menos dos de sus partes en un solo microcontrolador (NCAP-TIM) con la consecuente reducción de tamaño e incremento de velocidad al no ser necesario implementar la interfaz IEEE 1451.2.

La estandarización de los nodos posibilita la conexión de estos a una variada topología de red y la transformación de los transductores a transductores inteligentes facilita su uso y su intercambiabilidad. Los TIM(s) y NCAP construidos bajo el estándar IEEE 1451 son compatibles y pueden conectarse y usarse. No habrá necesidad de diferentes controladores, perfiles u otros cambios de software del sistema para proporcionar un funcionamiento básico del transductor. Las aplicaciones que utilizan, producen o muestran los datos asociados con un transductor no están incluidas en este trabajo.

### 12 REFERENCIAS

Redondo Expósito, J..*Estudio y elaboración de una guía de implementación del estándar IEEE 1451 para redes inalámbricas*. Pamplona, Julio 2010

IEEE Std 1451.0-2007.IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators—Common Functions, Communication Protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats, 2007

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

Gallina, S.; Beltramini, P. Villagran D.; Ferraro M.; Barragan C. *Interconexión de Artefactos en un Hogar Digital*. Produccion Científica de la Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas ISBN 978-987-661-186-2, Año 2014.

Gallina, S.H.; Beltramini, P.; Villagran, D.; Ferraro, M.; Arjona, L.; Lobos, D. "Diseño De Un Nodo Con Capacidad Plug & Play"; IV Congreso demicroelectrónica

aplicada. Universidad Tecnológica Nacional- Facultad Regional Bahía Blanca. (2013).