

Universidad Autónoma de Baja California



Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño

Maestría y Doctorado en Ciencias e Ingeniería

Hojas de Datos Electrónicas para Transductores Inteligentes Basadas en el Estándar IEEE 1451

Tesis

Que para cubrir los requisitos necesarios para obtener el grado de

Doctor en Ingeniería presenta:

Ismael Hernández Capuchin

Ensenada, Baja California, México. Enero de 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y DISEÑO

UNIDAD ENSENADA

Hojas de Datos Electrónicas para Transductores Inteligentes Basadas en el Estándar IEEE 1451

TESIS

Que para obtener el grado de Doctor en Ingeniería presenta:

Ismael Hernández Capuchin

Aprobada por:


Dr. Manuel Moisés Miranda Velasco
Director de tesis


Dr. David Isaias Rosas Almeida
Codirector de tesis


Dr. Miguel Enrique Martínez Rosas
Miembro del comité


Dr. Salvador Villarreal Reyes
Miembro del comité


Dr. Humberto Cervantes De Ávila
Miembro del comité

Ensenada, Baja California, México. Enero 2016.

Resumen,

de la tesis de Ismael Hernández Capuchin, presentada como requisito para la obtención del grado de DOCTOR EN INGENIERIA.

“Hojas de Datos Electrónicas para Transductores Inteligentes Basadas en el Estándar IEEE 1451”

Resumen aprobado por:



Dr. Manuel Moisés Miranda Velasco

En el presente trabajo se diseñó, programó y construyó un sistema para generar, grabar y leer hojas de datos electrónicas (*Transducer Electronic Data Sheet - TEDS*) para transductores inteligentes que cumplen con el estándar IEEE 1451.

Además, se realizó una revisión bibliográfica con el propósito de encontrar información de los proyectos o equipos electrónicos ya existentes en el mercado nacional e internacional.

También se llevaron a cabo pruebas de laboratorio para evaluar y comparar los datos generados y leídos por el sistema.

El resultado fue un sistema, que cumple con el objetivo y las metas propuestas, el cual puede ser configurado con los parámetros de acuerdo a las necesidades del usuario final.

Palabras clave: IEEE 1451, Transducer Electronic Data Sheet, TEDS, Transductores inteligentes, Hojas de datos electrónicas para transductores, Instrumentación.

Agradecimientos,

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) y a la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño (FIAD), por el apoyo brindado para la realización de este trabajo Doctoral.

Al Dr. Manuel Moisés Miranda Velasco por la confianza mostrada, por el tiempo que invirtió en darme asesoría, consejos y advertencias durante el desarrollo, construcción y revisión del presente trabajo.

A los Doctores Miguel Enrique Martínez Rosas, Salvador Villarreal Reyes, David Isaías Rosas Almeida y Humberto Cervantes de Ávila, que, a pesar de su tiempo tan valioso, me dieron su apoyo para finalizar este proyecto.

A todas las personas (conocidos, extraños, compañeros y amigos) que me regalaron parte de su tiempo y energías para que el presente trabajo tuviera un buen final...

Gracias.

Dedicatoria,

A mi familia por todo su amor y apoyo, a mis padres porque con su ejemplo y esfuerzo lograron que obtuviera una formación profesional. Aunque no lo viste finalizado, aquí está. Este trabajo, es de nosotros cuatro, desde el fondo de mi corazón estoy y estaré agradecido con ustedes, siempre.

A ti que sin saberlo me has dado toda tu ayuda, por la confianza que depositaste en mí y por el apoyo que me diste, te dedico este trabajo.

Tabla de contenido

Agradecimientos	ii
Dedicatoria	iii
Tabla de contenido	iv
Lista de figuras	vi
Lista de tablas	vii
Capítulo I Introducción	1
1.1. Antecedentes	3
1.1.1. Diferencia entre un transductor y un transductor inteligente	3
1.1.2. Componentes del estándar IEEE 1451	4
1.2. Planteamiento del problema	8
1.3. Pregunta de investigación	8
1.4. Hipótesis	8
1.4.1. Objetivo general	8
1.4.2. Objetivos específicos	8
1.5. Limitaciones del proyecto	9
1.5.1. Limitaciones geográficas	9
1.5.2. Limitaciones tecnológicas	9
1.5.3. Limitaciones de usuarios	9
1.6. Importancia del proyecto	10
Capítulo II Marco teórico	11
2.1. El estándar IEEE 1451 y las TEDS	11
2.1.1. Aplicaciones del estándar IEEE 1451	12
2.1.2. Ejemplo de aplicación en agricultura	13
2.2. Publicaciones científicas: implementación de las TEDS	14
2.3. Aplicaciones comerciales	16
Capítulo III Desarrollo	18
3.1. Python	18
3.2. Raspberry Pi	19
3.3. Arduino	20
3.4. El estándar IEEE 1451	21
3.4.1. Módulo de interfaz para el transductor (TIM)	22
3.4.2. Hojas de Datos Electrónicas para Transductores (TEDS)	23
3.4.2.1. Encabezado de identificación para las TEDS	25
3.4.2.2. Hojas de Datos Electrónicas para Transductores requeridas	27
3.4.2.3. Meta TEDS	28
3.4.2.4. TransducerChannel TEDS	28

3.4.2.5. PHY TEDS _____	28
3.4.2.6. User's Transducer Name TEDS _____	28
3.4.3. Hojas de Datos Electrónicas para Transductores opcionales _____	28
3.4.3.1. Calibration TEDS _____	29
3.4.3.2. Frequency Response TEDS _____	29
3.4.3.3. Transfer Function TEDS _____	29
3.4.3.4. End User Application Specific TEDS _____	30
3.4.3.5. Text-based TEDS _____	30
3.4.3.6. Manufacturer Defined TEDS _____	30
3.4.4. Los componentes de la familia IEEE 1451.X _____	30
3.4.5. Procesador de Aplicaciones con Capacidad de Red (NCAP) _____	32
Capítulo IV Resultados _____	33
4.1. La herramienta desarrollada _____	33
4.1.1. Meta TEDS _____	35
4.1.2. TransducerChannel TEDS _____	38
4.1.3. User's Transducer Name TEDS _____	42
4.1.4. Calibration TEDS _____	43
4.1.5. PHY TEDS _____	46
4.2. Lector para Hoja de Datos Electrónicas para Transductor (TEDS) _____	50
4.3. Ejemplo de Aplicación _____	52
4.4. Implementación de prueba en Hardware _____	62
4.5. Errores en el estándar _____	65
4.6. Resultados académicos _____	65
4.6.1. Desarrollo de software _____	66
4.6.2. Memorias en extenso _____	66
4.6.3. Capítulo de libro _____	68
Capítulo V Conclusiones _____	70
5.1. Conclusiones _____	70
5.2. Trabajo futuro _____	71
Capítulo VI Bibliografía _____	72

Lista de figuras

Figura 1 Diferencia en la estructura entre un transductor y un transductor inteligente. ...	4
Figura 2 Arquitectura básica del estándar IEEE 1451.	5
Figura 3 Arquitectura de la familia del estándar IEEE 1451.	7
Figura 4 Aplicaciones del estándar IEEE 1451.	13
Figura 5 Aplicación básica en agricultura del IEEE 1451.	14
Figura 6 Componentes del estándar IEEE 1451.	22
Figura 7 Composición final de una TEDS.	25
Figura 8 Componentes de una TEDS básica.	28
Figura 9 Componentes opcionales para una TEDS.	29
Figura 10 Funcionamiento de la interfaz física IEEE 1451.	31
Figura 11 Diagrama general de la herramienta generadora de TEDS.	34
Figura 12 Ventana principal de la herramienta desarrollada.	35
Figura 13 Diagrama para construir la <i>Meta</i> TEDS.	36
Figura 14 Ventana para los valores de la <i>Meta</i> TEDS.	37
Figura 15 Valores resultantes de la <i>Meta</i> TEDS.	38
Figura 16 Diagrama para construir el <i>TranducerChannel</i> TEDS.	38
Figura 17 Ventana para los valores del <i>TranducerChannel</i> TEDS.	41
Figura 18 Valores resultantes del <i>TranducerChannel</i> TEDS.	42
Figura 19 Diagrama para construir el <i>User Transducer Name</i> TEDS.	42
Figura 20 Ventana para los valores del <i>User Transducer Name</i> TEDS.	43
Figura 21 Valores resultantes del <i>User Transducer Name</i> TEDS.	43
Figura 22 Diagrama para construir el <i>Calibration</i> TEDS.	44
Figura 23 Ventana para los valores del <i>Calibration</i> TEDS.	46
Figura 24 Ventana para los valores del <i>Conversion Method</i>	46
Figura 25 Valores resultantes del <i>Calibration</i> TEDS.	46
Figura 26 Diagrama para construir el <i>PHY</i> TEDS.	47
Figura 27 Ventana para los valores del <i>PHY</i> TEDS.	50
Figura 28 Valores resultantes del <i>PHY</i> TEDS.	50
Figura 29 Diagrama general de la herramienta lectora desarrollada.	51
Figura 30 Ventana principal de la herramienta lectora desarrollada.	52
Figura 31 Raspberry Pi y Arduino implementados.	63
Figura 32 Relación entre el Hardware de prueba y Software desarrollado.	63
Figura 33 Diagrama de funcionamiento dentro del Arduino.	64

Lista de tablas

Tabla 1 Ventaja y desventajas de Arduino.	21
Tabla 2 Formato Genérico para Cualquier TEDS.....	24
Tabla 3 Descripción de la estructura TLV.....	24
Tabla 4 Estructura del identificador de las TEDS.	25
Tabla 5 Códigos de acceso para las TEDS.....	26
Tabla 6 Enumeración de las versiones de las TEDS.	27
Tabla 7 Identificadores para el radio en <i>PHY</i> TEDS.	48
Tabla 8 Enumeración para la encriptación de la <i>PHY</i> TEDS.	48
Tabla 9 Valores de la sección "UUID Field".....	52
Tabla 10 Octetos para la sección " <i>UUID Field</i> ".	53
Tabla 11 Representación binaria de la sección " <i>TEDS Time</i> ".	54
Tabla 12 Valores representativos en TLV para los campos de la sección " <i>TEDS Time</i> ".	55
Tabla 13 <i>Meta</i> TEDS final.....	55
Tabla 14 <i>TransducerChannel</i> TEDS Final.....	57
Tabla 15 <i>User Transducer Name</i> TEDS Final.	59
Tabla 16 <i>Calibration</i> TEDS Final.	60
Tabla 17 <i>Physical</i> TEDS Final.	61
Tabla 18 Manual de uso del generador de TEDS.	66
Tabla 19 Congreso Internacional de Ingeniería Electro.	67
Tabla 20 Congreso Internacional de Investigación Celaya.	68
Tabla 21 Capitulo de libro.....	69

Capítulo I

Introducción

Hoy en día los transductores son parte importante de nuestra vida. Los encontramos en casi cualquier equipo o dispositivo que complementa nuestro día a día, en los dispositivos móviles, electrodomésticos, juguetes y automóviles, entre otros. La pregunta es ¿Qué es un transductor? En Pallas [1] se menciona que en general, se le llama transductor a todo dispositivo que convierte una señal de una forma física en una señal correspondiente, pero de otra forma física distinta. Entonces, cualquier dispositivo que convierta una señal (mecánica, térmica, magnética, eléctrica, óptica o química) en una señal distinta, deberá ser considerado un transductor. De lo anterior, se concluye que un transductor es un dispositivo que convierte la señal original en otra señal que representa la misma información en una variable física que puede ser procesada más eficientemente.

Debido a que en el medio ambiente hay distintos tipos de señales y los sistemas de medición electrónicos trabajan con señales eléctricas, es necesario convertir todas aquellas señales que no son eléctricas en su representación eléctrica para poder utilizarlas en sistemas electrónicos.

De manera general, se puede considerar que un sensor es un transductor que producirá una señal eléctrica a partir de una señal primaria (mecánica, térmica, magnética, óptica o química), de forma complementaria, un actuador, es un transductor que realiza una acción física a partir de una señal eléctrica. Por lo tanto, un transductor se puede comportar como un dispositivo de entrada, un *sensor* o como un dispositivo de salida, un *actuador*. La señal eléctrica generada por un transductor tiene que ser adecuada para poder manejarla, para esto será necesario utilizar arreglos de componentes electrónicos específicos que acondicionen la señal para que cumpla con los requisitos establecidos por el sistema que la utilizará. Cuando se trata de un actuador, la señal que se produce a la salida del transductor también esta acondicionada con la finalidad de manipular acciones externas.

Debido a que el transductor necesitara dispositivos de soporte para un correcto funcionamiento y dada la diversidad de transductores y fabricantes en el mercado, se

tiene una amplia variedad de esquemas de acondicionamiento. Esto significa que cada transductor se integra con sistemas de medición y control hechos a la medida, dependiendo del fabricante varían las prestaciones y el costo de adquisición. En la actualidad muy poco se ha hecho por normalizar formas y tipos de comunicación entre transductores y sistemas de medición y/o control, ocasionando que el usuario al necesitar un sensor o un actuador en específico, deba adquirir el hardware y software específico del fabricante, realizando una inversión considerable, por ejemplo, en el caso de requerir dos transductores de dos fabricantes distintos, al final tendría dos equipos con funciones redundantes, además, cerraría toda posibilidad a otras tecnologías y quedaría restringido al uso del catálogo de un fabricante específico. En caso de no poder adquirir el equipo recomendado por el fabricante sólo contara con un transductor que trabaja con una funcionalidad reducida o no trabaja correctamente en el ambiente que se instaló.

Es de notar que algunos equipos de adecuación¹ tienen un precio razonable debido a que los componentes electrónicos utilizados han disminuido su costo y aumentado sus funcionalidades. Lo anterior ha generado una nueva tendencia. La medición y el control de múltiples puntos, permitiendo llevar a cabo mediciones y/o control de múltiples puntos a lo largo de un proceso. Al aumentar son considerables la cantidad de sensores y actuadores que se ven involucrados en un proceso, ha generado un aumento en la información que se maneja por lo que es necesario la utilización de redes de comunicación entre transductores², mejor conocidas como redes de transductores.

Una gran variedad de transductores, diferentes estándares de comunicación, el rápido avance de la tecnología y ningún estándar específico para la red de transductores es el origen del estándar IEEE 1451. Ideado y desarrollado para unificar diversos estándares y protocolos mediante un protocolo base que permite la interoperabilidad entre sensores o actuadores y redes de comunicación, incluyendo los dispositivos de adecuación que trabajan junto con los transductores.

¹ Se llamará “equipo de adecuación” o “dispositivos de adecuación” a todo el hardware y software necesario para el uso de un transductor.

² En general, en la literatura se hace mención de las redes de sensores inalámbricas (RSI), en el contexto de este trabajo donde se maneja el concepto más general de transductor, se trabajará con el termino Redes de Transductores, que incluye como un caso particular las RSI.

1.1. Antecedentes

En el año de 1994, el Instituto Nacional para Estándares y Pruebas (NIST por sus siglas en inglés) de Estados Unidos de Norteamérica propuso un protocolo para “Transductores Inteligentes” (del termino en inglés *Smart Transducers*), los cuales estaban de alguna forma asociados a una red de comunicación. Debido a que este estándar está respaldado por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE por sus siglas en inglés) y el Comité Técnico en Tecnología de Sensores de la Sociedad de Instrumentación y Mediciones, fue adoptado formalmente como un estándar, con el nombre de: “IEEE 1451. Estándar e Interfaz para Transductores Inteligentes” (en inglés: *IEEE 1451 Smart Transducer Interface Standard*). El comité creado para el manejo del estándar ha trabajado por cerca de 19 años en su desarrollo, el comité aún continúa trabajando en su desarrollo debido a la necesidad de integración de nuevas tecnologías e interfaces para transductores inteligentes [2].

1.1.1. Diferencia entre un transductor y un transductor inteligente

El estándar IEEE 1451 especifica que las principales diferencias entre un transductor y un transductor inteligente, se encuentran en: sus componentes, la forma en la cual se procesa la información y en cómo se envían los datos generados. De forma general un transductor inteligente obtiene su funcionalidad al integrar un sistema basado en software y hardware dedicados, que permiten de manera interna realizar un acondicionamiento de las señales, un procesamiento de la información y un control de la interfaz de comunicación. Estas funcionalidades, un transductor convencional no las presenta y aunque existen protocolos de comunicación que permiten identificar distintos dispositivos en una misma red de transductores en realidad, estos protocolos no cuentan con información complementaria como la proporcionada por el IEEE 1451 tales como identificadores (TEDS) o procesadores de información (NCAP), en la Figura 1 se muestra la diferencia entre ambos modelos de transductores.

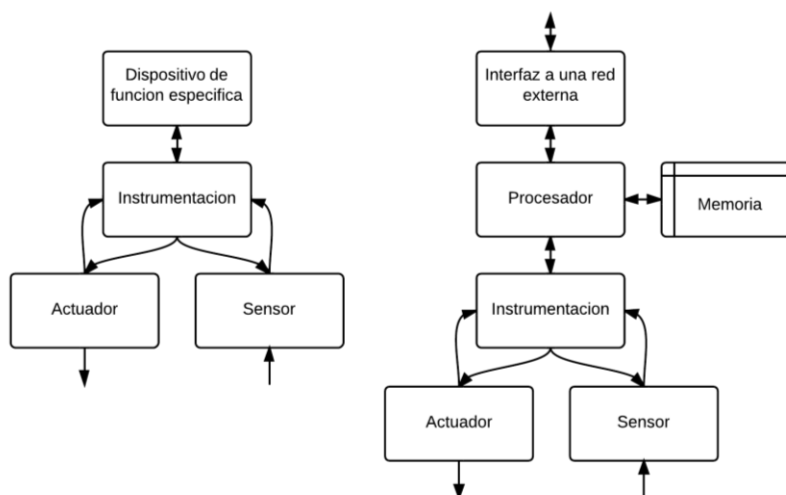


Figura 1 Diferencia en la estructura entre un transductor y un transductor inteligente.

De acuerdo con el estándar, para que un transductor sea considerado inteligente necesita cumplir con tres características [2]:

- Contener una descripción para ser leído por una máquina, mediante una hoja de datos electrónica.
- El control y los datos asociados con el transductor son digitales.
- Se debe proveer el accionar, el estado y el control para soportar el funcionamiento propio del transductor.

1.1.2. Componentes del estándar IEEE 1451

El estándar IEEE 1451 describe como requisito que un transductor inteligente tenga tres componentes principales: el módulo de interfaz para el transductor, la hoja de datos electrónica del transductor y un procesador de aplicaciones con capacidad de red. Como se muestra en la Figura 2, los componentes y conexión de estos forman la arquitectura básica del estándar.

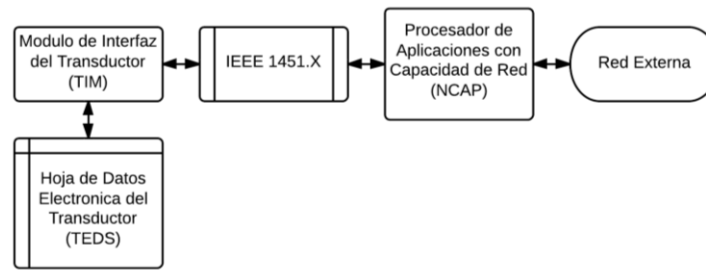


Figura 2 Arquitectura básica del estándar IEEE 1451.

1. **Módulo de Interfaz del Transductor** (TIM por sus siglas en inglés). Es un bloque de acondicionamiento de señal que define el protocolo para enviar o recibir información desde el sensor o hasta el actuador. El TIM se comunica con el Procesador de Aplicaciones con Capacidad de Red (NCAP por sus siglas en inglés) a través de algún canal de comunicación, definido en la familia del estándar (interface IEEE1451.X). Debido a que el estándar IEEE 1451 no especifica el tipo de instrumentación necesaria para construir un transductor inteligente, es responsabilidad del fabricante adjuntar al transductor la electrónica necesaria para cumplir con los requisitos del estándar. Lo anterior significa que, cualquier anexo instrumental ahora será parte del TIM. El software dentro del TIM puede incluir algoritmos muy complejos que le permitan resolver operaciones muy complejas, aunque en su forma más básica el TIM solo responde a las peticiones de información hechas por el NCAP.

2. **Hoja de Datos Electrónica del Transductor** (TEDS por sus siglas en inglés). Contiene información detallada del sensor o actuador. Es información generada por el fabricante del transductor inteligente, la cual se almacena en una memoria externa dentro del TIM. La TEDS se compone de tablas con datos específicos como: nombre del fabricante, nombre del transductor, fecha de fabricación, número de unidad, lugar de fabricación, rango de medición, unidades de medición, frecuencia de trabajo, límites de funcionamiento, datos de calibración y conversión, tipo de comunicación, función de transferencia, respuesta en frecuencia, entre otros. Aunque no es necesario que todos estos datos estén declarados en el sistema para que el transductor sea considerado inteligente, si existen datos obligatorios marcados por el estándar.

3. **Procesador de Aplicaciones con Capacidad de Red (NCAP).** Es el administrador de la comunicación entre el TIM y la red externa debido a que conoce los comandos para trabajar con ambos. Puede procesar información y aunque es diseñado para funcionar con una red específica puede administrar múltiples redes de acuerdo al área de instalación. En la mayoría de los trabajos de investigación publicados que fueron consultados, se menciona la utilización de una red externa de comunicación basada en HTTP, es importante hacer notar que la red externa esta fuera de las especificaciones del estándar ya que solo se considera como un medio de comunicación.

Para trabajar con el estándar es necesario que el usuario seleccione la interfaz de comunicación entre el TIM y el NCAP, así como algunos componentes que le permitan comunicarse con la red externa. En la Figura 3 se muestra la arquitectura de la familia del estándar IEEE 1451, en qué escenario tendría una implementación ideal, además, del año en que fue presentado y una breve descripción.

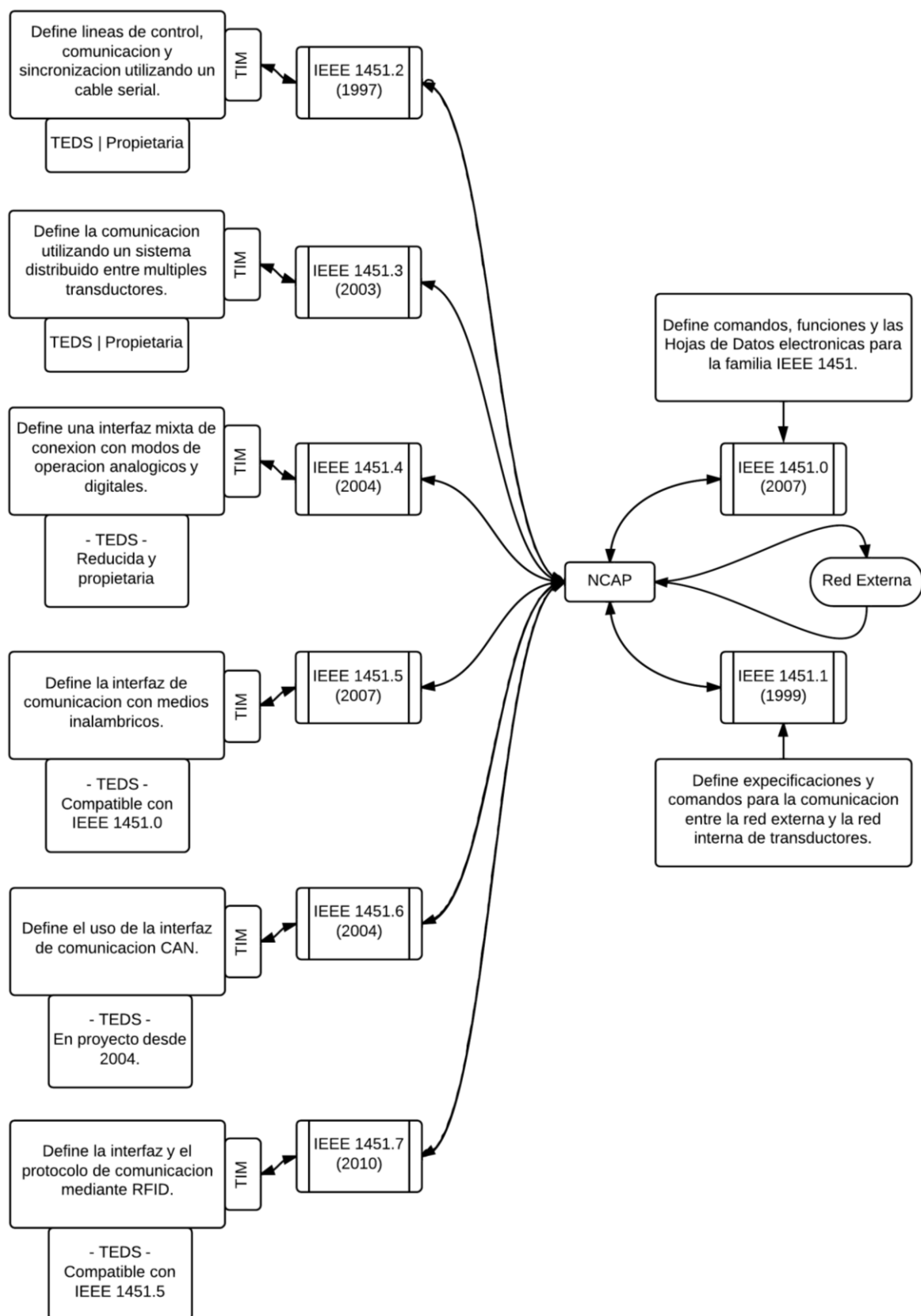


Figura 3 Arquitectura de la familia del estándar IEEE 1451.

1.2. Planteamiento del problema

Tener un sistema integral, compatible con distintos sistemas operativos, de código abierto, que permita la captura de las características de los transductores y que ordene la información de acuerdo a los formatos requeridos por el estándar IEEE 1451, facilitaría el desarrollo de transductores inteligentes.

Un transductor es llamado inteligente y es compatible con el estándar IEEE 1451 cuando integra una hoja de datos electrónica con información que lo describe completamente, estos datos contenidos, ordenados y que dan forma a las características propias de la hoja de datos electrónica del transductor deben de cumplir con los lineamientos establecidos por el propio estándar. Por lo tanto, el primer paso para desarrollar un transductor inteligente es contar con una herramienta que genere las TEDS correctamente.

1.3. Pregunta de investigación

¿Se podrá construir un sistema para la generación de hojas de datos electrónicas (TEDS) para transductores que cumpla con las bases presentadas en el estándar IEEE 1451?

1.4. Hipótesis

Sí es posible desarrollar un sistema integral, compatible con distintos sistemas operativos, de código abierto, que capture la información necesaria para la generación de TEDS que cumplan con las bases presentadas en el estándar IEEE 1451.

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un sistema para la generación de TEDS para transductores que cumpla con las especificaciones presentadas en el estándar IEEE 1451.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Buscar la plataforma de desarrollo optima que cumpla con los requerimientos del sistema.
2. Desarrollar el generador de TEDS para el transductor.

3. Configurar y programar un dispositivo que administre los datos generados por el sistema.
4. Evaluar y documentar el funcionamiento del sistema.
5. Realizar divulgación de los resultados obtenidos.

1.5. Limitaciones del proyecto

Las limitaciones que se pueden presentar en el proyecto son de tres tipos: geográficas, tecnológicas y de usuario.

1.5.1. Limitaciones geográficas

Este proyecto tiene limitaciones geográficas muy concretas debido a que, desde su concepción, el objetivo principal es contribuir al desarrollo de sensores inteligentes dentro del Cuerpo Académico de Control e Instrumentación Electrónica (CACIE), en la Facultad de Ingeniería, Arquitectura y Diseño de la Universidad Autónoma de Baja California en Ensenada, Baja California, México. Aunque el sistema será de código abierto y por lo tanto podrá ser utilizado en otros lugares.

1.5.2. Limitaciones tecnológicas

La información relativa a las aplicaciones del estándar IEEE 1451 no es común y debido a que es un estándar reciente, es poca la investigación y el desarrollo relacionado con las TEDS. Debido a que las aplicaciones de tipo comercial son escasas, no se cuenta con algún sistema para comparar los resultados obtenidos. Aunque existen trabajos de investigación publicados, el estándar tecnológico es relativamente nuevo por lo que se estará trabajando sin tecnología similar.

1.5.3. Limitaciones de usuarios

Los usuarios directos del sistema para la generación de TEDS tendrán a su disposición un manual de funcionamiento, donde se describe la forma de utilización del sistema. Se pretende que sea un sistema de uso exclusivo para la persona o personas encargadas del desarrollo y fabricación de dispositivos inteligentes. Personal técnico capacitado y con conocimientos de instrumentación electrónica ya que se manejarán términos y configuraciones propios de un estándar basado en tecnología electrónica.

1.6. Importancia del proyecto

Realizar un proyecto en el cual se desarrollará un sistema que brindará las bases para un dispositivo basado en el estándar IEEE 1451 genera tecnología que en primera instancia y de momento será de aprovechamiento local, pionero en su aplicación en el área geográfica, cubriendo las necesidades propias del CACIE.

Aunque las herramientas utilizadas en el desarrollo del sistema no son productos nacionales, el diseño del sistema, así como su lógica de operación son hechos en México, por lo tanto, también se desarrolla tecnología nacional.

El producto final será un sistema real, práctico y funcional. Y aunque es susceptible a mejoras y adecuaciones, no se evitará que desde su misma etapa inicial ya pueda ser utilizado como apoyo en el desarrollo de transductores inteligentes.

Capítulo II

Marco teórico

El objetivo principal del estándar IEEE 1451 es facilitar la implementación de transductores al añadirles inteligencia, definiendo interfaces de comunicación, utilizando TEDS y generalizando la arquitectura de trabajo. Lo anterior, permite definir la creación de transductores inteligentes (sensores o actuadores) que incorporan métodos de instrumentación automáticos para eliminar el error humano. El estándar permite el uso de aplicaciones dedicadas, trabajar con redes externas, utilizar interfaces de comunicación modernas, así como, permite su implementación en sistemas de cómputo diversos, desde sistemas de baja capacidad como microcontroladores de 8 bits hasta, dispositivos con gran capacidad de cómputo.

En este capítulo, se da una descripción de la configuración de las TEDS para una mejor comprensión del tema por parte del lector. Además, basado en la investigación realizada, se describe el estado que guarda la implementación del estándar IEEE 1451 con respecto a las TEDS, tanto en el ámbito académico como en el comercial.

2.1. El estándar IEEE 1451 y las TEDS

El estándar IEEE 1451 fue creado para normalizar la comunicación entre los transductores y su red de trabajo, por lo tanto, dentro del transductor inteligente están contenidas las TEDS. Como se mencionó en el capítulo anterior, estas hojas son un complemento necesario para considerar al transductor como un transductor inteligente. Las TEDS ayudan en la auto calibración, auto identificación, configuración de unidades, configuración de valores máximos y mínimos, respuestas automáticas, entre otras funciones. Básicamente, el estándar provee funcionalidades comunes y simplifica la creación y comunicación entre los dispositivos que están en la misma red de trabajo.

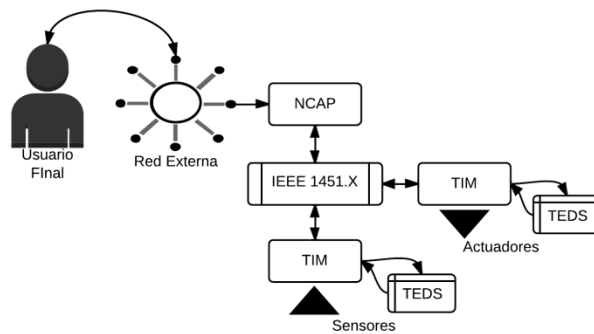
Se puede decir que las TEDS son el núcleo del transductor inteligente. Por lo tanto, se necesita que el creador de las TEDS lo haga de forma adecuada. En la investigación realizada para documentar esta tesis, solo se encontraron tres sistemas que generan TEDS [3] [4] [5]. A pesar de que hay bastantes aplicaciones que mencionan ser

compatibles con el estándar IEEE 1451 son pocos los autores que muestran o mencionan cual fue el método que utilizaron para generar tan importante elemento.

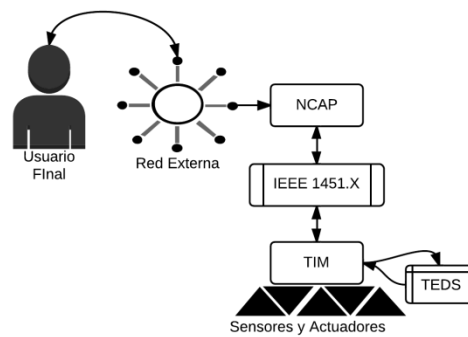
2.1.1. Aplicaciones del estándar IEEE 1451

El estándar IEEE 1451 fue desarrollado en base a tres esquemas de trabajo sin que esto signifique que es exclusivo de alguno de ellos, como se puede observar en la Figura 3 puede ser aplicado en una diversidad de escenarios. La descripción gráfica de cada una de las aplicaciones se muestra en la Figura 4, en la cual los escenarios se describen como:

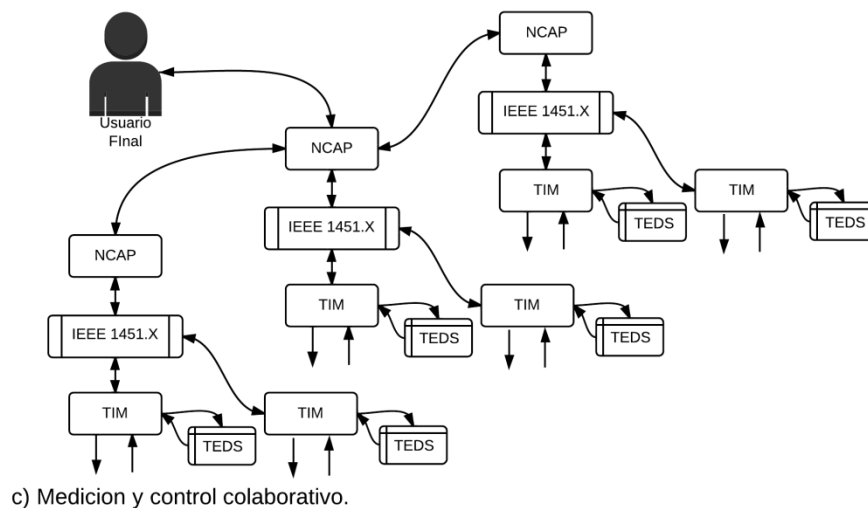
- En el **monitoreo y actuación remota**, las mediciones del sensor asociado al TIM son enviadas hasta el NCAP y de allí al usuario final a través de la red externa; o el usuario por medio del NCAP da instrucciones para activar o desactivar los actuadores asociados al TIM.
- Cuando se trata de **medición y control distribuido** el TIM coordina múltiples sensores y/o actuadores, las mediciones de los sensores son enviadas al NCAP y después a la red externa, a su vez el usuario por medio del NCAP puede dar instrucciones para activar o desactivar los actuadores.
- En la **medición y control colaborativo**, dos o más NCAP están conectados a distintos TIM y se comunican entre sí para realizar operaciones de medición o de control de manera colaborativa.



a) Medición y actuación remota.



b) Medición y control distribuido.



c) Medición y control colaborativo.

Figura 4 Aplicaciones del estándar IEEE 1451.

2.1.2. Ejemplo de aplicación en agricultura

En la bibliografía existen varios proyectos enfocados a demostrar la implementación y el funcionamiento de un sistema basado en transductores inteligentes. Basado en estos casos a continuación se propone un ejemplo. En la Figura 5, se muestra una configuración típica para un transductor inteligente. Se tiene un sistema que monitorea el consumo de agua de una planta, la TEDS embebida dentro del TIM describe un par de

canales en funcionamiento, un sensor de humedad del suelo y a un actuador, el actuador está conectado a una fuente de agua. El modulo TIM se puede comunicar de manera inalámbrica o por medio de cables con el NCAP, el cual está protegido dentro de un almacén y a su vez conectado a una red externa. En un modo de funcionamiento el TIM le envía los datos recabados del sensor de humedad al módulo NCAP, el cual recibe la información y la envía al usuario final en la red externa, para que consulte la información. En otro modo de funcionamiento, el usuario puede generar una acción mediante el actuador, aquí el TIM está a la espera de algún comando desde el NCAP, el cual puede ser iniciar o detener el riego hacia la planta. Una segunda red de control se encuentra localmente, en este caso el usuario local está en contacto directo con el NCAP y puede revisar o activar directamente el TIM desde el NCAP que se encuentra en el almacén.

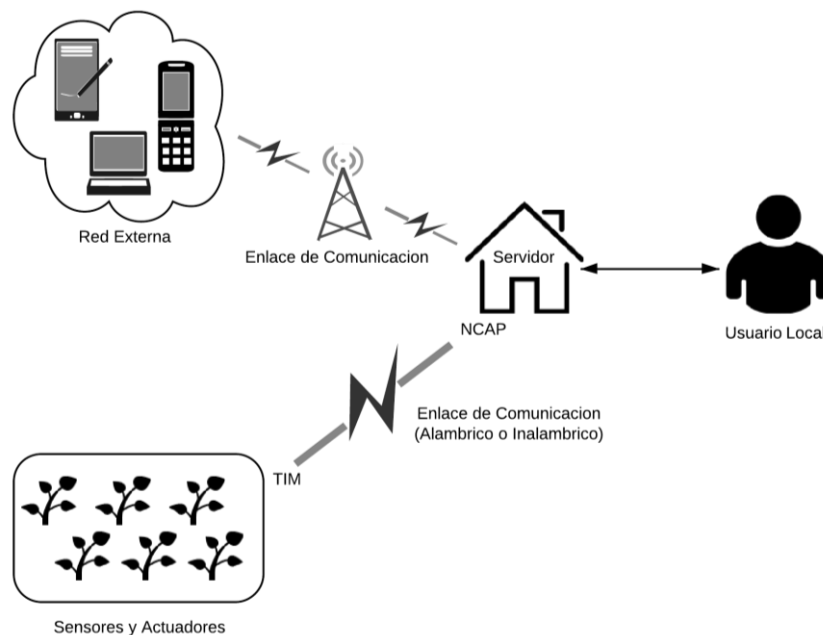


Figura 5 Aplicación básica en agricultura del IEEE 1451.

2.2. Publicaciones científicas: implementación de las TEDS

Debido a la importancia de las TEDS para cualquier aplicación del estándar IEEE 1451 se espera que las publicaciones hicieran mayor mención de la parte que corresponde a las TEDS. Sin embargo, en la investigación realizada, solo el estándar, dos documentos científicos publicados y una tesis son específicos en como crearon TEDS basadas en el estándar IEEE 1451.0 [2] [3] [4] [5].

El propio estándar IEEE 1451 para transductores inteligentes muestra un ejemplo de generación y desarrollo de una TEDS, pero de forma manual [2], en el documento queda demostrando el trabajo necesario para crear una hoja electrónica de tipo binario que después se introducirá en un microcontrolador. Algunos procedimientos son tediosos debido a que se basan en otros estándares de la IEEE. Además, cada transductor es distinto, por lo que tiene datos únicos para incluir en la TEDS y de esta manera cumplir con las especificaciones del estándar. Es importante resaltar que el ejemplo mostrado por el estándar solo es una pequeña parte de la configuración ya que utilizan un sensor común y lineal, evitando configuraciones que suelen ser más complejas.

Otra herramienta de para la generación de TEDS es descrita por Manda y Gurkan [4], los autores la desarrollaron basados en el estándar IEEE 1451.0 y en la infraestructura digital .NET, de manera extensa en la publicación se describe la aplicación y su funcionamiento. Aunque mencionan que cumple completamente con el estándar, no integran un componente esencial dentro de las TEDS, las PHY TEDS o TEDS físicas. Estas son muy importantes, ya que se utilizan para establecer la comunicación con la red de trabajo del módulo TIM.

Una herramienta interactiva para crear TEDS basada en el estándar IEEE 1451.0 es descrita por Matos et al. [5], fue desarrollada en Java y se apoya con MySQL para generar una base de datos local. La herramienta es descrita de forma básica, pero incluye la explicación de un caso de estudio. Es importante mencionar que este desarrollo utiliza un repositorio que según los autores se va incrementando conforme se utiliza la herramienta, ya que puede almacenar las TEDS creadas para un uso posterior, lo anterior permite llamar una configuración realizada anteriormente para utilizarla nuevamente o para crear una nueva basados en la anterior. La publicación contiene una dirección URL donde se puede descargar la aplicación, sin embargo, al momento de consultarla, la dirección había cambiado y hasta la fecha parece haber dejado de funcionar.

Un último documento, tal vez el primero en ser presentado y en donde se describe la creación de TEDS compatibles con el estándar IEEE 1451.0 para ser utilizadas en un diseño prototipo, es el descrito por Liu [3] en este se desarrolla un generador de TEDS basado en la versión de borrador del estándar IEEE 1451.0, según el documento el

generador de TEDS funcione pero en el estándar final publicado hubo una serie de cambios que fueron realizados, por lo tanto quedo como una aplicación obsoleta.

Existen algunas publicaciones que comentan de una manera superficial que cuentan con alguna herramienta para generar TEDS pero no se hace descripción de la misma, como fue desarrollada o como funciona [6] [7] [8] [9] [10] [11]. Por lo tanto, aunque muestran desarrollos basados en IEEE 1451, este tipo de publicaciones han sido catalogados como aplicaciones del estándar, no como aplicaciones generadoras de TEDS.

2.3. Aplicaciones comerciales

De las siguientes aplicaciones comerciales, solo dos especifican que son capaces de generar la hoja de datos electrónica para el transductor, bajo los lineamientos del estándar IEEE 1451.4, pero este estándar pronto debe de entrar en revisión ya que no es compatible con los puntos más actuales de la familia IEEE 1451. Además, se asume que las demás aplicaciones de alguna manera deben de generar una nueva hoja de datos cuando se le requiere conectar un nuevo transductor al sistema, aunque en las especificaciones no lo mencionen.

Esensors, Inc. Comercializa un módulo NCAP y otro modulo TIM para experimentación con el estándar IEEE 1451. Cumplen con las partes IEEE 1451.2, IEEE 1451.4 y IEEE 1451.5 del estándar. El NCAP puede conectarse a internet por medio de Ethernet y se puede acceder a él, desde cualquier buscador, tiene un costo de \$810.00 dólares estadounidenses. El TIM cuenta con cuatro entradas para IEEE 1451.4, seis entradas para IEEE 1451.2 y también cuenta con salidas para cuatro actuadores, su costo es de \$900.00 dólares estadounidenses [12].

American GNC Corporation. En su catalogo de productos se puede encontrar un dispositivo llamado Smart Sensor Node (CRE-SSN) el cual es un nodo avanzado de prueba según su descripción en la página de internet. Ofrece comunicación flexible entre módulos afines, obviamente fabricados por ellos mismos. Cumple con los estándares IEEE 1451.0 e IEEE 1451.5. Se han enviado distintos correos a distintas direcciones de la empresa y no ha habido una respuesta para conocer información de comercialización [13]. The Modal Shop, Inc. Vende un modelo distinto y actualizado de la PDA que antes se comercializaba con PCB Piezotronics, Inc. El modelo 400B76 está fabricado para leer

y escribir TEDS mediante el puerto USB de una computadora con Windows. Funciona con el estándar IEEE 1451.4. Hay que contactar al proveedor para precios y compras [13].

JLM innovation. Ofrece una interface para conectar una Computadora Personal (puerto USB) a un transductor que cumpla con el estándar IEEE 1451.2. Ofrece la lectura y escritura de las TEDS con un software adicional basado en el estándar IEEE 1451.4. Hay que contactar con el proveedor para precios y compras [14].

Es importante hacer mención que el estándar IEEE 1451.4 fue de los primeros puntos en ser distribuido cuando fue lanzado originalmente el estándar IEEE 1451 por lo tanto, no es compatible con algunos puntos más nuevos del estándar IEEE 1451 como el IEEE 1451.0 o el IEEE 1451.5, debido a que los anteriores han sido desarrollados con una compatibilidad mayor en mira, es de esperarse que cuando sea el momento de una revisión del estándar IEEE 1451.4 sea reestructurado para ser compatible con toda la familia IEEE 1451.

Capítulo III

Desarrollo

En este capítulo se describen los métodos utilizados en la investigación y el desarrollo del proyecto, desde el diseño experimental hasta los procedimientos. Para realizar el generador de TEDS se seleccionó el lenguaje de programación Python, este es un lenguaje de propósito general, que presenta una orientación claramente científica, permitiendo la aplicación orientada en el proyecto. Además, se muestra la teoría e implementación del estándar IEEE 1451, con especial detalle en la sección para la generación de TEDS.

3.1. Python

Python tiene una sintaxis remarcablemente simple y elegante además de ser un poderoso lenguaje de programación de propósito general [15]. La implementación es bajo código abierto esto significa que Python es libre incluso para propósitos comerciales. Python fue creado de forma modular desde el principio, disponible para diferentes sistemas operativos, lo que le permite ejecutarse en la mayoría de las computadoras actuales. El núcleo de este lenguaje es pequeño pero sus prestaciones pueden ser mejoradas agregando extensiones o módulos complementarios. El usuario puede crear nuevos módulos de extensión acorde a las necesidades, las extensiones pueden ser construidas mediante código nuevo o reciclado.

Python es un lenguaje atractivo que maneja un alto nivel de estructuras de datos en una forma flexible. Maneja cadenas, conjuntos, módulos, clases, listas de variables y arreglos asociativos (diccionarios) entre otros. Este tipo de componentes y su flexibilidad forman un rico conjunto que se expresa libremente en una manera sencilla cuando se programa, permitiendo hacer tareas y operaciones complejas con simplicidad y precisión. Según Perez et al. [16] Python provee suficiente flexibilidad para construir herramientas con un balance en sus características presentando un rendimiento de acuerdo a las necesidades, por lo tanto, es fácil de desarrollar y utilizar.

El soporte para Python es muy extenso, tiene una amplia comunidad de colaboradores que están constantemente mejorando el lenguaje. La página oficial de internet ofrece

diversos recursos debido a las contribuciones de los usuarios, además, provee acceso a documentación, paquetes, tutoriales multimedia incluso implementaciones alternativas, entre otras.

Herramientas computacionales como Python son muy importantes en la investigación y desarrollo científico. Python es una plataforma poderosa, libre y de gran calidad. Esto permite crear herramientas con base probada, tomando todas las ventajas de contribuciones pasadas al lenguaje de programación.

3.2. Raspberry Pi

Es una computadora de bajo costo, del tamaño de una tarjeta de crédito que se conecta a un monitor, un teclado y un mouse [17]. Este dispositivo es capaz de trabajar como lo hace una computadora de escritorio permitiendo desarrollar programas en lenguajes como Python.

El GPU de la Raspberry Pi en cómputo de propósito general puede realizar hasta 24 GFLOPS. Comparando con otros equipos las versiones más pobres de esta tarjeta trabajarían como un procesador Pentium 2 a 300 MHz, aunque las versiones más actuales trabajan a una velocidad 1.1 GHz.

Existen varias distribuciones oficiales (distros) para instalar como sistema operativo en la Raspberry Pi, disponibles para descarga desde la página oficial. La versión recomendada por el fabricante es Raspbian, que es una versión basada en Debian. Debian es un sistema operativo libre que utiliza el núcleo de Linux, este núcleo son un conjunto de controladores que necesarios para utilizar un equipo de cómputo [18].

Aunque no hay un lenguaje oficial para programar en la Raspberry Pi, el fabricante recomienda utilizar Python. Pero, cualquier lenguaje que se pueda compilar para ARMv6 (primera versión de Raspberry) o ARMv7 (segunda versión de Raspberry) puede ser utilizado en la Raspberry Pi. Tal es el caso que en la versión Raspbian se incluyen Python, C, C++, Java, Scratch y Ruby.

Dependiendo del modelo seleccionado puede tener desde 26 hasta 40 terminales de propósito general. En todos los modelos estas terminales incluyen un puerto UART, un puerto i2c, un puerto SPI con dos selectores y un puerto i2s audio. El número máximo de

entradas y salidas de propósito general teóricamente puede ser indefinido al expandir por medio de los puertos i2c o SPI el control de envío y recepción de datos. Otros puertos incluidos en la tarjeta son HDMI, video compuesto, entrada y salida de audio, Ethernet y varios USB 2.0 además, de un par de conexiones específicas para una cámara de video y un visualizador LCD.

Básicamente Raspberry Pi se utiliza para interactuar con el mundo externo con una computadora pequeña, barata y eficiente.

3.3. Arduino

Arduino es una plataforma de arquitectura abierta para creación de prototipos, se compone de software y hardware libre de fácil uso [19]. Las tarjetas con hardware Arduino se programan mediante el Arduino software (IDE) para leer entradas y activar salidas. Arduino fue concebido como una herramienta para que estudiantes pudieran producir prototipos sin tener un conocimiento amplio en electrónica o en programación. Gracias a la popularidad que ha alcanzado se han creado distintas tarjetas que cubren diversas necesidades de comunicación o capacidades de procesamiento de datos.

Una tarjeta con software libre es la que contiene software que da a los usuarios la libertad de poder ejecutarlo, copiarlo y distribuirlo a quien sea, estudiarlo, cambiarlo y mejorarlo, sin tener que pedir ni pagar permisos a alguna entidad en específico, pero, a efectos legales ha de someterse a algún tipo de licencia de distribución [19]. Una tarjeta con hardware libre permite que los usuarios puedan estudiarlo para comprender su funcionamiento, modificarlo, reutilizarlo o mejorarlo y compartir los cambios, para esto es necesario poder ver los componentes y sus conexiones, contar con los esquemáticos del diseño del hardware, pero, a diferencia del software libre aquí aún se trabaja en el marco legal de regulación.

La popularidad de Arduino se debe a la libertad y flexibilidad que permite un fácil aprendizaje para usuarios principiantes, pero, también a que permite explotar todas sus ventajas a los usuarios avanzados en aplicaciones dedicadas. Por ejemplo, permite a investigadores crear instrumentos científicos de prueba a muy bajo costo. Algunas de las ventajas de Arduino se enlistan en la Tabla 1 [20].

Tabla 1 Ventaja y desventajas de Arduino.

Ventajas	Arduino
Libre y Extensible	El usuario que lo desee y cuente con los conocimientos, puede ampliar y mejorar el diseño del hardware de trabajo o del software de programación.
Comunidad	Debido a su flexibilidad y libertad muchas personas lo utilizan, enriquecen la información disponible y comparten continuamente ideas y soluciones.
Multiplataforma	El software de programación puede ser instalado y ejecutado en Windows, Linux y Mac OS.
Simple y Claro	Al ser desarrollado para usuarios con pocos conocimientos en programación y electrónica, la curva de aprendizaje es exponencial.
Costo	Las placas de hardware Arduino son relativamente más económicas comparadas con otros sistemas electrónicos de diseño.
Reutilizables	Al ser reprogramable y fácil de conectar y desconectar, se puede aprovechar la misma placa para varios proyectos.
Conectividad	Como la placa Arduino está dotada de múltiples entradas y salidas puede capturar información de sensores o enviar señales a actuadores.

3.4. El estándar IEEE 1451

Un dispositivo basado en el estándar 1451 tiene tres componentes principales. El primero es el Modulo de Interfaz para el Transductor (TIM), este contiene la instrumentación electrónica para el correcto funcionamiento del transductor. Dentro del TIM se encuentra embebido el segundo componente, una parte de firmware llamada: Hoja de Datos Electrónica del Transductor (TEDS) con la información de operación, calibración, identificación y funcionamiento, entre otras. El TIM a su vez se comunica con un

Procesador de Aplicaciones con Capacidad de Red (NCAP) el cual es el tercer componente principal. Básicamente el NCAP maneja la comunicación entre el modulo TIM y la red que actúa como control ya sea recibiendo o enviando datos. Tal como en la Figura 2 se mostró la arquitectura básica del estándar, en la Figura 6 se muestran los elementos básicos del estándar IEEE 1451. Es importante mencionar que la comunicación entre el TIM y el NCAP se realiza por medio de una interfaz física que puede ser cableada o inalámbrica, este tipo de interfaz es incluida en el estándar IEEE 1451 como anexos de la familia comenzando con el punto 0 y actualmente extendiéndose hasta el punto 7.

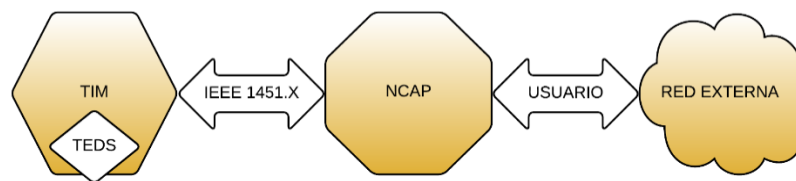


Figura 6 Componentes del estándar IEEE 1451.

3.4.1. Módulo de interfaz para el transductor (TIM)

Cuando el módulo TIM está en funcionamiento, significa que está listo para responder o actuar de acuerdo a las instrucciones generadas por el NCAP. El TIM se comunica con el NCAP a través de alguno de los canales físicos de comunicación. El TIM al ser un acondicionador de señal, define el medio de comunicación y el protocolo a utilizar para obtener información desde el sensor o enviar información hasta el actuador.

El estándar no especifica el tipo de dispositivos que es necesario adjuntar a un transductor para hacerlo inteligente, este tipo de reglas quedan completamente fuera del estándar. Decisiones de diseño como estas, recaen directamente en la persona que desarrolla el sistema basado en el estándar IEEE 1451, esta persona tiene como responsabilidad configurar el instrumento apegado al estándar sin necesidad de complicar su funcionamiento, si en algún momento el usuario final necesita configurar el transductor inteligente, solo lo podrá hacer a través de los caminos proporcionados por el estándar para este tipo de acciones.

Debido a lo anterior, cualquier componente electrónico que acompañe al módulo TIM para que funcione de manera correcta, pertenece al módulo TIM, entre más componentes se necesiten para configurar un transductor, más grande será el modulo TIM a desarrollar.

El software dentro del transductor inteligente puede incluir algoritmos muy complejos que le permitan hacer un análisis completo del sistema con el cual está trabajando, desde conversiones hasta procesamientos, aunque en su forma más básica el TIM pudiera trabajar solo respondiendo a las solicitudes hechas por el NCAP. De acuerdo a los recursos con que se cuente en el módulo TIM, el desarrollador asignara los procesos que son y los que no es posible ejecutar dentro del TIM. Podría preguntarse: ¿Será mejor realizar el procesamiento en el NCAP? O qué tipo de comunicación entre el TIM y el NCAP se está utilizando ¿Es mejor enviar información ya procesada? ¿El NCAP procesara más rápido la información que el TIM?

Un punto importante a tomar en cuenta es que la respuesta a las preguntas anteriores dependerá en gran manera de la configuración y la información de las TEDS almacenadas en el TIM. Las TEDS darán la pauta hasta qué punto es el TIM autosuficiente para proporcionar información a la red de trabajo en donde se encuentre y así poder trabajar de manera autónoma.

3.4.2.Hojas de Datos Electrónicas para Transductores (TEDS)

Las TEDS son hojas de datos electrónicas que describen al TIM, esta le da las características de inteligencia al transductor. Nueve TEDS son generadas para el IEEE 1451.0 y una para el IEEE 1451.5.

Las TEDS son bloques de datos almacenados en una memoria no volátil en el TIM, si el modulo no puede soportar este tipo de almacenamiento entonces también puede ser almacenada en otras ubicaciones, pero dentro del sistema del usuario, cuando algo como esto pasa son llamadas TEDS virtuales. Es responsabilidad del usuario proveer un acceso a los archivos que contienen la TEDS virtual.

Como regla general el estándar dicta que una TEDS no se cambia una vez que el fabricante o el usuario han establecido el contenido de la TEDS, pero si es posible diseñar hojas de datos para propósitos especiales que permitan el cambio de contenido durante

su operación [2]. Los cambios especiales pueden ser debido a un cambio de transductor o un cambio en el tipo de comunicación, entre otros cambios significativos que obliguen a una reconfiguración del sistema. Todas las TEDS tienen un formato general que se tiene que seguir para construir las; la Tabla 2 muestra el formato general para una TEDS.

Tabla 2 Formato Genérico para Cualquier TEDS.

Campo	Descripción	Tipo	# Octetos
-	Largo de TEDS	UInt32	4
1 a N	Bloque de Datos	Variable	Variable
-	<i>Checksum</i>	UInt16	2

El largo de una TEDS es el número total de octetos en el Bloque de datos, más dos octetos para el valor de comprobación contra errores de transmisión (*Checksum* en inglés). El bloque de datos contiene la información que es almacenada por una TEDS en específico, esta información es almacenada por el fabricante utilizando la estructura de datos TLV (Tipo/Largo/Valor), los campos asociados a esta son diferentes para cada TEDS generada. El *Checksum* es el complemento a uno de la suma de todos los octetos anteriores incluyendo los de Largo de TEDS. La Tabla 3 muestra la definición de la estructura TLV.

Tabla 3 Descripción de la estructura TLV.

Campo	Descripción
Tipo	Este es un código que identifica la TEDS que está contenida en el campo de valor.
Largo	Es el número de octetos en el campo de valor.
Valor	Este campo contiene la información de la TEDS.

En la Figura 7 se muestra cómo quedaría compuesta la TEDS final basándonos en las tablas 2 y 3 que se mostraron anteriormente.

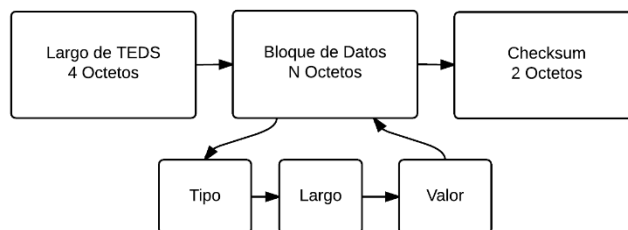


Figura 7 Composición final de una TEDS.

3.4.2.1. Encabezado de identificación para las TEDS

Esta información es obligatoria en cada una de las TEDS y consiste de cuatro campos que se muestran en la Tabla 4, junto a los de Tipo y Largo. El contenido es: número de la familia del estándar, clase de TEDS, número de versión, largo de la tupla.

Tabla 4 Estructura del identificador de las TEDS.

Campo	Valor	Función
Tipo	03	Al igual que en la tabla 3, este código identifica el campo en el que la TEDS está contenida y sirve para identificar la TEDS.
Largo	04	Siempre estará en un valor de 04, indicando que hay cuatro octetos contenidos en la TEDS.
Familia	00	Identifica al miembro de la familia del estándar IEEE 1451 al cual se está accediendo.
Clase	Ver Tabla 5	Identifica la TEDS a la que se está accediendo, en la Tabla 5 aparecen los valores que se pueden acceder.
Versión	Ver Tabla 6	Identifica las versiones de la TEDS. Es el valor del número de la versión identificado en el estándar y se muestra en la Tabla 6.
Tupla	Numero de octetos	Es la cantidad de octetos en el campo “Largo” de todas las tuplas en las TEDS excepto en esta tupla. Para la mayoría de TEDS este valor es 1.

Existe un solo valor que puede ser consultado y que identifica la TEDS con que se está trabajando. En la Tabla 5 se enlistan los códigos de acceso para las TEDS definidas por el estándar. Los valores numéricos en el campo “TEDS tipo” identifican los diferentes tipos de TEDS, el 1 significa que es una TEDS binaria, el 2 significa que es una TEDS en texto y el 3 significa que es información definida por el usuario. En el campo “TEDS incluye” se muestra si es una TEDS obligatoria (Requerido) para el sistema o si es opcional incluirla.

Tabla 5 Códigos de acceso para las TEDS.

TEDS código	TEDS nombre	TEDS tipo	TEDS incluye
0	---	Reservado	---
1	MetaTEDS	Meta-TEDS1	Requerido
2	MetaIdTEDS	Meta-identification TEDS2	Opcional
3	ChanTEDS	TransducerChannel TEDS1	Requerido
4	ChanIdTEDS	TransducerChannel Identification TEDS2	Opcional
5	CalTEDS	Calibration TEDS1	Opcional
6	CalIdTEDS	Calibration Identification TEDS2	Opcional
7	EUASTEDS	End user’s application-specific TEDS3	Requerido
8	FreqRespTEDS	Frequency response TEDS1	Opcional
9	TransferTEDS	Transfer function TEDS1	Opcional
10	CommandTEDS	Commands TEDS2	Opcional
11	TitleTEDS	Location and title TEDS2	Opcional

12	XdcrName	User's transducer name TEDS3	Requerido
13	PHYTEDS	PHY TEDS1	Requerido
14	GeoLocTEDS	Geographic location TEDS2	Opcional
15	UnitsExtention	Units extention TEDS2	Opcional
16 – 127	---	Reservado	---
128 – 255	---	Definido por el fabricante	Opcional

En la Tabla 6 se muestra la enumeración para las distintas versiones de la TEDS que se está utilizando.

Tabla 6 Enumeración de las versiones de las TEDS.

Versión de TEDS	Versión del estándar IEEE 1451.0
0	Reservada para prototipos u otras TEDS que no cumplen con el estándar.
1	Corresponde a la versión original de este estándar.
2 – 225	Reservada para futuras versiones del estándar.

3.4.2.2. Hojas de Datos Electrónicas para Transductores requeridas

Cuatro TEDS son requeridas por cada TIM. Otras seis son opcionales a implementar. Las TEDS requeridas son: *Meta-TEDS*, *TransducerChannel* TEDS, *PHY* TEDS y *User's Transducer Name* TEDS. En la Figura 8 se muestran los componentes de una hoja de datos electrónica para transductores básica.

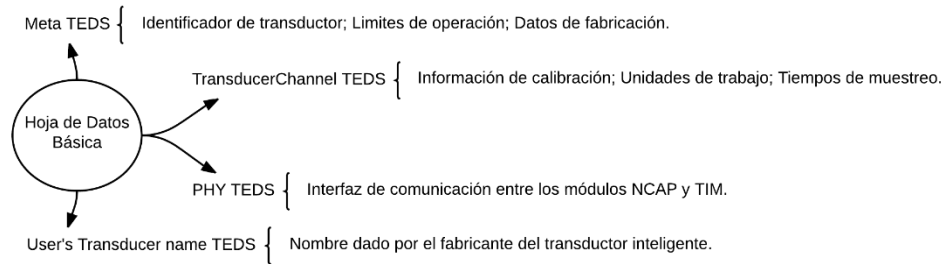


Figura 8 Componentes de una TEDS básica.

3.4.2.3. Meta TEDS

La función de la *Meta TEDS* es hacer disponible a la interfaz toda la información que se necesita para poder acceder a los transductores conectados al TIM. Con estos datos se puede acceder a cualquier *TransducerChannel*, además de tener la información común a todos los *TransducerChannel*. Esta es una TEDS requerida.

3.4.2.4. TransducerChannel TEDS

La función de la *TransducerChannel TEDS* es hacer disponible a la interfaz toda la información concerniente al transductor que se está accediendo para habilitar su correcta operación. Esta es una TEDS requerida.

3.4.2.5. PHY TEDS

La función de la *PHY TEDS* es hacer disponible a la interfaz toda la información necesaria para utilizar cualquier canal de comunicación entre los módulos TIM y NCAP. Los octetos para esta TEDS son constantes y de solo lectura. Esta es una TEDS requerida.

3.4.2.6. User's Transducer Name TEDS

El *User's Transducer Name TEDS* es un espacio para almacenar el nombre por el cual el sistema o el usuario final conocerán a este transductor. Esta es una TEDS requerida para el TIM y recomendada para todos los transductores.

3.4.3. Hojas de Datos Electrónicas para Transductores opcionales

Las TEDS opcionales son: *Calibration TEDS*, *Frequency Response TEDS*, *Transfer Function TEDS*, *End User Application Specific TEDS*, *Text-based TEDS* y *Manufacturer*

defined TEDS. En la Figura 9 se muestran los componentes de una hoja de datos electrónica para transductores básica.

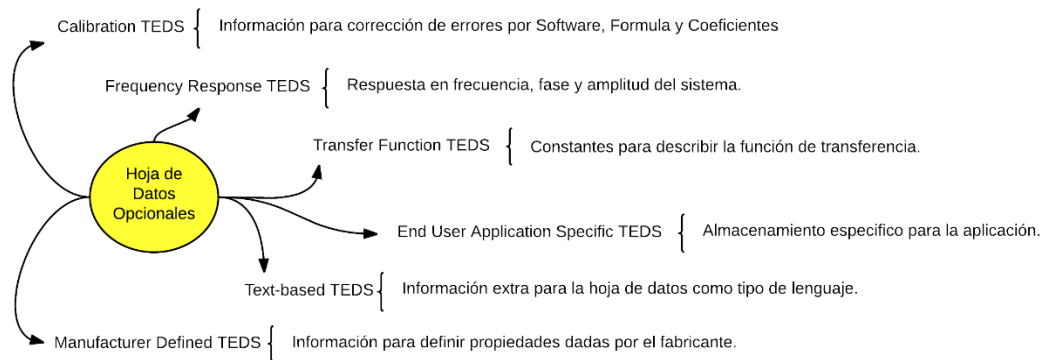


Figura 9 Componentes opcionales para una TEDS.

3.4.3.1. Calibration TEDS

La función de la *Calibration* TEDS es poner a disposición toda la información utilizada por el software de corrección en conexión con el *TransducerChannel* al que se acceda. Con el fin de aplicar funciones matemáticas específicas a los datos provenientes del transductor. Esta es una TEDS opcional.

3.4.3.2. Frequency Response TEDS

La función de la *Frequency Response* TEDS es poner a disposición la información concerniente a la respuesta en frecuencia del *TransducerChannel* para el usuario. Esta TEDS brinda una caracterización de la respuesta en frecuencia y fase de la información proporcionada por el transductor. Esta TEDS está normalizada a una frecuencia de referencia. Esta es una TEDS opcional.

3.4.3.3. Transfer Function TEDS

Esta TEDS provee una serie de constantes que pueden ser usados para describir la función de transferencia del transductor. Con esta TEDS se busca permitir al NCAP o a algún otro elemento en el sistema, poder compensar por la respuesta en frecuencia del transductor. Esta TEDS está normalizada a una frecuencia de referencia. Esta es una TEDS opcional.

3.4.3.4. End User Application Specific TEDS

Esta TEDS brinda un espacio de almacenamiento para datos de los que dependa la aplicación y que el usuario dese mantener con el TIM o en el *TransducerChannel*. El usuario determina el contenido y la función de esta TEDS, a su vez debe permitirse su lectura y escritura. Esta es una TEDS opcional.

3.4.3.5. Text-based TEDS

Esta TEDS es una clase opcional. La función de esta TEDS es proveer información para mostrar a un operador. Seis TEDS se listan en la Tabla 6 y cumplen con esta categoría.

3.4.3.6. Manufacturer Defined TEDS

Esta TEDS debe de estar en cualquier formato requerido por el fabricante del software de aplicación. Ningún sistema genérico debe de ser capaz de sincronizarse con esta TEDS o interpretar su contenido de ninguna forma. A menos que los datos sean tipo texto y como respuesta a una petición, el sistema simplemente debería de tomar esta información y pasarla a la aplicación que la está llamando. Si esta información es llamada por el TIM entonces debe de cumplir con el formato de una TEDS, agregando el largo de los datos y el *Checksum* final. Esta es una TEDS opcional.

3.4.4. Los componentes de la familia IEEE 1451.X

A continuación, se da una descripción de los componentes que pertenecen a la familia del estándar. No todos los componentes la familia IEEE 1451 pueden trabajar en conjunto, debido a que han sido desarrollados en distintas fechas, de acuerdo al grupo de trabajo para el estándar se continúa mejorando algunos para que sean compatibles al estándar IEEE 1451.0 debido a que éste cubre el uso y manejo del TIM, TEDS y NCAP. Solo los puntos del estándar producidos durante o después del año 2007 son compatibles con el IEEE 1451.0.

El estándar IEEE 1451.0 (2007) Define un conjunto de comandos, funciones en común y las TEDS que permiten el trabajo entre los miembros de la familia del estándar. Uno de los principales objetivos es poder ayudar con el manejo de la información cuando se necesite trabajar con redes que involucren más de un punto de la familia del estándar.

Derivado de un conjunto de comandos definidos en este punto del estándar, llamados: servicios, es posible que tanto el NCAP como el TIM interactúen entre sí, sin importar porque medio se realiza la comunicación o el protocolo utilizado. En la Figura 10 se muestra el modelo de referencia del estándar y cómo interactúan los diferentes puntos de la familia.

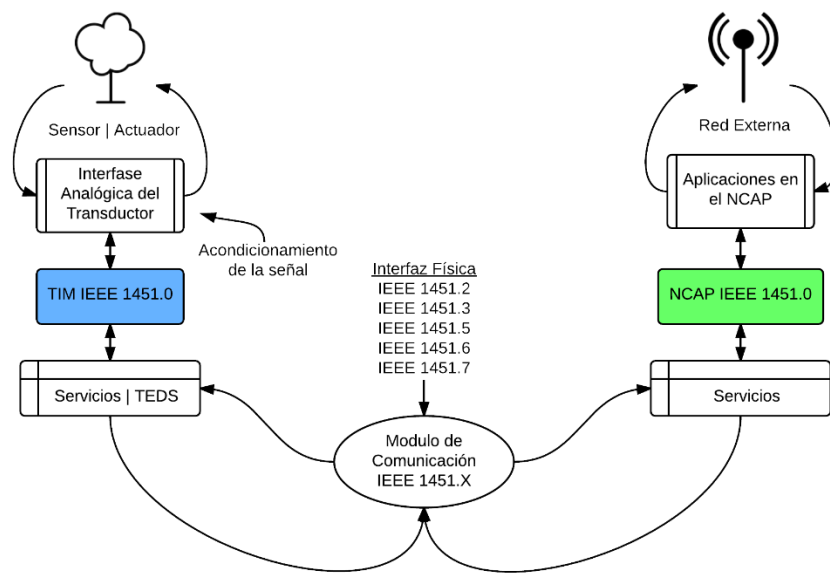


Figura 10 Funcionamiento de la interfaz física IEEE 1451.

IEEE 1451.1 – 1999 Define los comandos y las especificaciones para la comunicación entre un transductor Inteligente y una red externa. También define los protocolos de comunicación entre una red interna de Transductores Inteligentes.

IEEE 1451.2 – 1997 Define la capa de comunicación, las líneas de control y de sincronización por medio de un cable periférico serie entre el NCAP y el TIM. También define su propia TEDS. Hay una revisión anunciada para que sea compatible con el punto 0, en la cual se buscara agregar otras comunicaciones tipo serie para reducir la complejidad al implementarlo.

IEEE 1451.3 – 2003 Define la comunicación entre el TIM y el NCAP utilizando un sistema de comunicación distribuido de múltiples transductores. Define su propia TEDS.

IEEE 1451.4 – 2004 Define una interfaz de modo mixta para transductores con modos de operación analógicos o digitales. Además, describe una TEDS reducida para dispositivos de poca memoria.

IEEE 1451.5 – 2007 Define la interfaz de comunicación entre el TIM y el NCAP de manera inalámbrica. Aquí solo es necesario el enlace de comunicación, todo lo demás correspondiente a otros estándares de comunicación queda fuera.

IEEE 1451.6 – 2004 (Inicio del Proyecto) Define el formato de las TEDS y la interfaz entre el TIM y el NCAP para utilizar la interfaz de comunicación en redes CANopen. Aunque se inició en 2004 es poca la información al respecto y no hay un estándar publicado.

IEEE 1451.7 – 2010 Define la interfaz y el protocolo de comunicación entre transductores y sistemas de Identificación por Radio Frecuencia (RFID).

3.4.5. Procesador de Aplicaciones con Capacidad de Red (NCAP)

Este módulo es una compuerta que proporciona el acoplamiento entre el TIM y la red de control externa esto significa que el NCAP realiza dos funciones básicas, conocer los comandos de trabajo para el estándar IEEE 1451 y conocer los comandos para trabajar en la red externa en la que el usuario quiera trabajar. El NCAP realiza procesamiento interno de información y efectúa comunicación con la red externa.

El NCAP se puede diseñar para trabajar con una red externa en específico, pero también puede ser fabricado pensando en un dispositivo con soporte para redes múltiples, lo cual le permitiría trabajar con redes cableadas o inalámbricas dándole la ventaja de seleccionar el protocolo de trabajo con el que mejor se adapte en donde sea instalado.

La mayoría de los ejemplos que se han publicado hasta el momento utilizan una red basada en HTTP haciendo parecer que el estándar basa su comunicación en este medio, pero, esto no es así, el estándar especifica que la red del usuario esta fuera de su alcance. Estos módulos no están restringidos por el estándar para trabajar con ciertas redes en específico, al contrario, el estándar menciona que cualquier red puede ser utilizada. Incluso va más allá al dejar claro que no importa el estándar utilizado siempre y cuando el NCAP cuente con el hardware y el firmware apropiados para trabajar con la red seleccionada.

Capítulo IV

Resultados

A lo largo de éste capítulo se hará referencia al sistema desarrollado y los resultados obtenidos. Para comprobar el funcionamiento del sistema, fue puesto a prueba en el laboratorio, en un ambiente controlado manteniendo los valores del sistema dentro de un rango conocido.

4.1. La herramienta desarrollada

Ésta herramienta genera hojas TEDS basadas en el estándar IEEE 1451.0 e IEEE 1451.5 además, se utilizó Python, versión 2.7.2 y Arduino. La herramienta desarrollada es parte de un proyecto integral para transductores inteligentes, al momento ésta herramienta es evaluada y mejorada por pruebas de laboratorio.

La herramienta cuenta con un módulo principal; este módulo en realidad está compuesto por otros cinco módulos más pequeños, cada uno trabaja de manera independiente pero juntos despliegan el resultado final en la misma pantalla como parte del módulo principal, por lo tanto y de acuerdo con el estándar, se cumple con las cuatro hojas TEDS obligatorias, además de una opcional.

Se trata de una interfaz que interpreta los datos introducidos por el usuario, los procesa y le da el formato de acuerdo a los requerimientos y protocolos del estándar de una forma práctica para el usuario. En la Figura 11 se describe en un diagrama la herramienta generadora de hojas TEDS.

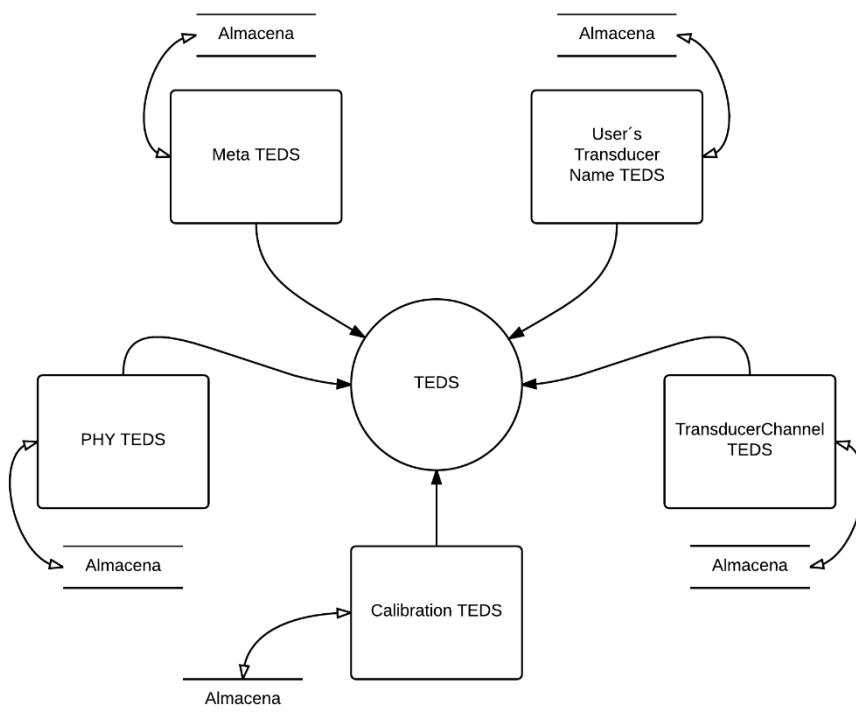


Figura 11 Diagrama general de la herramienta generadora de TEDS.

Como se muestra en la Figura 11, una vez iniciado el programa principal, se despliega la interfaz en la pantalla del usuario. El usuario selecciona cuál de las hojas TEDS quiere generar para armar una TEDS completa y funcional. Una vez seleccionada alguna de las hojas, el menú de captura correspondiente aparece en pantalla, obviamente los datos solicitados están basados en el estándar, es importante mencionar que esta hoja es solo parte de la hoja TEDS final, por sí sola no contiene suficiente información para considerar a un transductor inteligente.

Una vez los datos son cargados en los campos específicos entonces la hoja TEDS es generada, esto significa que la TEDS es diseñada de acuerdo a las especificaciones del estándar. Después la TEDS es almacenada para transductores futuros y es desplegada en la pantalla para el usuario. La TEDS es desplegada en un archivo binario y hexadecimal al mismo tiempo. En la Figura 12 se observa la pantalla principal de la herramienta generadora.

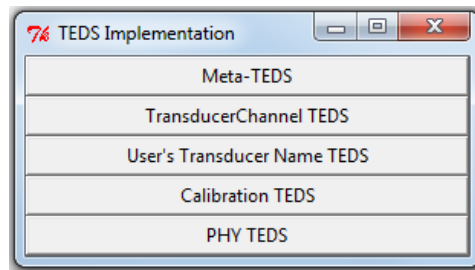


Figura 12 Ventana principal de la herramienta desarrollada.

Una vez seleccionada alguna de las TEDS aparecerá la sección “*Identification*”, esta es recurrente en cada una de las TEDS que se construyen, los valores que aparecen en esta sección ya están precargados para facilitar su uso, obviamente existen cambios para identificar cada hoja, pero debido a que en la hoja de datos los valores de identificación dentro del sistema siempre son los mismos no es necesario escribirlos cada vez que se genera una nueva hoja. A continuación, se explicará cada una de las hojas individuales con las que cuenta la herramienta construida.

4.1.1. Meta TEDS

Como se mencionó en la sección 3.4.2.3 esta hoja hace disponible a la interface toda la información que se necesita para poder acceder a cada uno de los canales distintos que tiene el TIM sobre todo cuando son múltiples transductores los que tiene conectados, además de los valores de identificación propios del transductor. El proceso de solicitud de información se despliega en una sola ventana, donde el usuario tiene que capturar la información solicitada. En la Figura 13 se muestra el diagrama de solicitud de información.

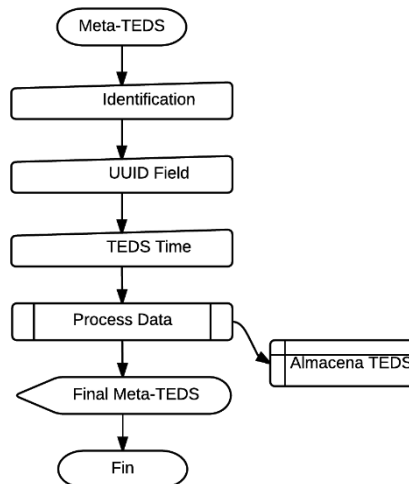


Figura 13 Diagrama para construir la Meta TEDS.

La sección “*UUID Field*” solicita al usuario valores de fabricación del dispositivo tales como coordenadas y fecha de elaboración con el fin de dar un identificador global único al transductor inteligente. Los datos a procesar se componen de 42 bits donde se indica la locación de la fábrica del transductor, en la Figura 14 se puede observar que es necesario indicar los valores norte (bit más significativo en 1) o sur (bit más significativo en 0) junto al valor binario de latitud (los siguientes 20 bits), además de los valores este (bit siguiente en 1) u oeste (bit siguiente en 0) junto al valor binario de la longitud (los últimos 20 bits), tanto el valor de latitud como de longitud primero debe convertirse a su representación de arco segundo y después este valor es el convertido a binario. El valor del fabricante (utiliza 4 bits) se utiliza como precaución por si llegan a existir interferencias en la misma ubicación, esto es cuando hay distintas empresas fabricantes de transductores inteligentes en el mismo lugar entonces, el valor a utilizar en este campo es negociado por las empresas involucradas para llegar a un acuerdo. A continuación, se solicita la fecha de fabricación y el número de unidad del día, en realidad en este punto el estándar solicita el año (12 bits) y el horario de fabricación en segundos (22 bits), pero, como llevar un control de los segundos en la fabricación es más complicado, se solicita la fecha completa y el número de unidad de esta forma es posible calcular matemáticamente en que segundo del año se fabricó el dispositivo, por ejemplo de la fecha podemos obtener la cantidad de días que han pasado en el año, si se fabrican “x” transductores inteligentes por día entonces, el valor lo multiplicamos por el número de

transductores y le sumamos el valor del día, de esta manera le damos un valor entero y único de producción en el año.

La sección “*TEDS Time*” contiene cuatro campos de datos. Aquí se solicitan los tiempos de operación y la cantidad de canales en operación del transductor. El primer campo es el intervalo de tiempo, los segundos que esperara el sistema por una respuesta hasta declararla como una operación fallida o para recibir una nueva instrucción y utiliza 4 octetos. El siguiente campo es un intervalo de tiempo, en segundos, que se interpreta como el tiempo necesario que le toma para estar listo al sistema y aceptar el siguiente comando cuando no se requiere una respuesta por la acción efectuada y utiliza 4 octetos. El penúltimo campo es de tiempo y se utiliza para el tiempo máximo, en segundos, requerido para ejecutar un examen diagnóstico y utiliza 4 octetos. El ultimo campo ocupa 2 octetos y es un valor entero que representa la cantidad de canales dentro del TIM.

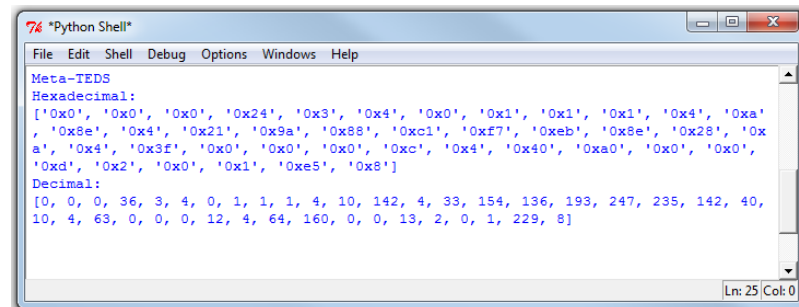
Todos los valores que se manejan en la ventana de información para el usuario como números enteros o flotantes, tienen que ser convertidos a binarios para que cumplan con los tamaños asignados por el estándar. La ventana que aparece al usuario donde se solicitan los valores de captura para la Meta TEDS se muestran en la Figura 14, esta es una captura de pantalla del programa.

The screenshot shows the Meta-TEDS application window. It is divided into three main sections: Identification, UUID Field, and TEDS Time. The Identification section includes fields for Type (3), Length (4), Family (0), Class (1), Version (1), and Tuple Length (1). The UUID Field section includes Location NJS (North), Latitude (31.86493), Location WJE (West), Longitude (-116.665826), Manufacturer (0), Day (1), Year (2015), Month (12), and Number of Unit (1). The TEDS Time section includes Operational Time Out (0.5), Slow-Access Time-Out (1), Self-Test Time-Out (5.0), and TransducerChannels (1). There is also a Process Data section with a Process button and a Final Meta-TEDS label.

Identification		Process Data	
Type	3	Process	
Length	4		
Family	0		
Class	1		
Version	1		
Tuple Length	1		
		Final Meta-TEDS	
UUID Field			
Location NJS	☒ North ☐ South		
Latitude	31.86493		
Location WJE	☒ West ☐ East		
Longitude	-116.665826		
Manufacturer	0		
Day	1		
Year	2015		
Month	12		
Number of Unit	1		
TEDS Time			
Operational Time Out	0.5		
Slow-Access Time-Out	1		
Self-Test Time-Out	5.0		
TransducerChannels	1		

Figura 14 Ventana para los valores de la Meta TEDS.

Una vez capturados los datos en la Figura 14, estos son procesados y de acuerdo a la Figura 13 la información resultante es almacenada y desplegada en una ventana secundaria al usuario. En la Figura 15 se muestra la ventana con la información final.



```

Python Shell
File Edit Shell Debug Options Windows Help

Meta-TEDS
Hexadecimal:
['0x0', '0x0', '0x24', '0x3', '0x4', '0x0', '0x1', '0x1', '0x1', '0x4', '0xa',
'0x8e', '0x4', '0x21', '0x9a', '0x88', '0xc1', '0xf7', '0xeb', '0x8e', '0x28', '0x',
'a', '0x4', '0x3f', '0x0', '0x0', '0x0', '0xc', '0x4', '0x40', '0xa0', '0x0', '0x0',
'0xd', '0x2', '0x0', '0x1', '0xe5', '0x8']
Decimal:
[0, 0, 0, 36, 3, 4, 0, 1, 1, 1, 4, 10, 142, 4, 33, 154, 136, 193, 247, 235, 142, 40,
10, 4, 63, 0, 0, 0, 12, 4, 64, 160, 0, 0, 13, 2, 0, 1, 229, 8]
Ln: 25 Col: 0

```

Figura 15 Valores resultantes de la Meta TEDS.

4.1.2. TransducerChannel TEDS

En la sección 3.4.2.4 se mencionó que esta hoja presenta a la interfaz toda la información concerniente al transductor en uso. El proceso de solicitud de información se despliega en una sola ventana, donde el usuario tiene que capturar la información solicitada. La Figura 16 muestra el diagrama de solicitud para construir esta hoja.

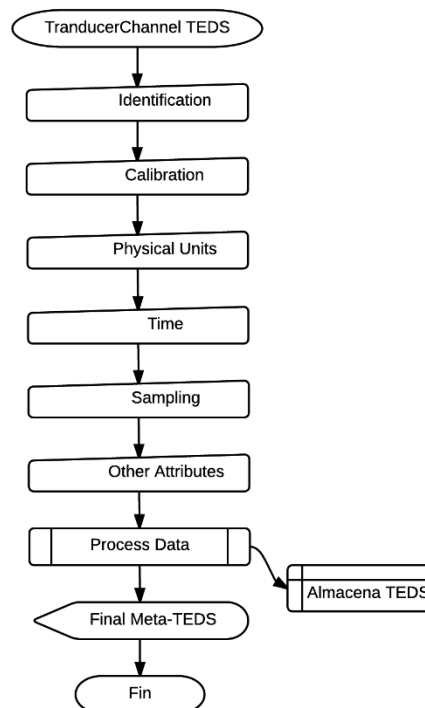


Figura 16 Diagrama para construir el *TranducerChannel* TEDS.

A continuación, se hace una descripción de cada una de las secciones que componen esta hoja de información.

La sección "*Calibration*" permite introducir diversos valores para la calibración del transductor inteligente. En el primer campo el usuario seleccionara las capacidades de calibración del transductor. Inicia con los módulos de corrección del sistema, seleccionando si la corrección es realizada por el procesador principal o si hay alguna otra parte del sistema en donde se realice la calibración, aquí se puede especificar si el método de corrección no está dentro de las opciones por seleccionar. El siguiente campo permite seleccionar que tipo de transductor está siendo conectado ya sea un sensor, actuador o un sensor eventual. En las siguientes tres secciones el usuario puede introducir el valor de los límites de operación y de error permitido, para los límites de operación las unidades serán en el sistema internacional siendo las mismas unidades de medida del transductor utilizado, pero, para el error no es necesario utilizar el sistema internacional ya que solo es un valor de información que servirá como referencia para el usuario final. En el siguiente campo el usuario seleccionará si el transductor tendrá capacidades de prueba automática. En los tres campos finales se utilizan 4 octetos para almacenar la selección y forma en que se manejaran los segmentos de bits ya sea para enviar o recibir información hacia o desde el transductor inteligente.

La sección "*Physical Units Interpretation*" permite definir como se interpretarán las unidades físicas seleccionadas para el transductor, pueden ser unidades del sistema internacional, unidades elevadas a una potencia, unidades dependientes de un logaritmo, datos booleanos o valores en una escala arbitraria.

La sección "*Physical Units*" es una secuencia binaria de 10 octetos que permite al usuario seleccionar entre las diferentes unidades del sistema internacional disponibles para describir las unidades que utilizara el transductor inteligente. Las unidades del transductor deben de verse como el producto de las unidades seleccionadas por el usuario y elevadas al exponente dado. Por lo tanto, no se limita a solamente las unidades dadas ya que una combinación de estas puede generar otras unidades que no son listadas. Si el exponente tiene un valor de cero, entonces esa unidad física no se utiliza.

La sección “*Time*” se utiliza para almacenar los valores de tiempo con los que estará trabajando el transductor, todos los valores de esta sección son expresados en segundos, cada valor es almacenado en un espacio de cuatro octetos. El primer campo utiliza sus octetos para almacenar el tiempo necesario para actualizar cada lectura del transductor, el valor es igual al intervalo de muestreo y es el intervalo de tiempo que transcurre desde que un evento sucede hasta que aparece la primera muestra. El siguiente campo es para el valor de tiempo máximo necesario para que la muestra esté disponible para ser leída. La sección para el periodo de muestreo solicita el valor mínimo para poder hacer lectura de valores muestra, para la mayoría de los transductores con conversores analógico-digital o digital-analógico este periodo de tiempo estará limitado por la velocidad de los conversores. La sección siguiente contiene el tiempo de estabilización necesario para que el transductor después de ser encendido pueda trabajar en el sistema. El campo para el tiempo de retardo permite escribir el valor máximo de retardo entre la recepción de un valor y el inicio de la transmisión de la trama completa. Por último, si el transductor ha implementado la opción de prueba automática este campo contiene el máximo tiempo para ejecutar la prueba automática.

La sección “*Sampling*” permite seleccionar uno de los cinco atributos de muestreo para los transductores. Aunque aparecen dos submenús de selección, estos pertenecen al mismo modo de muestreo por lo tanto se selecciona el mismo atributo para ambos. Esto cinco modos permiten distintas combinaciones para determinar cómo será el inicio de una medición para un dato muestreado.

La sección “*Other Attributes*” permite seleccionar los valores restantes para terminar de configurar la hoja TEDS y serán descritos a continuación. “*Buffered Attribute*” de acuerdo a la selección de este campo el usuario especificara si el transductor opera con uno o más controladores. “*End of Data Set Operation*” es una opción solo para actuadores que permite determinar que sucede con el ultimo valor almacenado si se conserva o no. “*Data Transmission Attribute*” describe los modos de transmisión de datos que el transductor inteligente puede soportar. “*Edge-to-report Attribute*” se utiliza cuando se trabaja con un sensor eventual y en este campo se selecciona cuando se toman los valores entregados por un sensor de este tipo. “*Actuator-halt Attribute*” este atributo permite seleccionar el modo en el cual se puede interrumpir un actuador ya sea por un estado, al finalizar una

transmisión o inmediatamente. “*Sensitive Direction*” se utiliza para cuando se trabaja con sensores que miden propiedades físicas espaciales como aceleración, velocidad o desplazamiento entre otras. “*Event Sensor Options*” esta opción permite seleccionar la habilidad que tiene un sensor eventual de reportar y detectar inconsistencias en la configuración.

En la Figura 17 se pueden ver los diferentes campos que componen cada una de las secciones descritas anteriormente.

Section	Field	Value
Identification	Type	3
	Length	4
	Family	0
	Class	3
	Version	1
Calibration	Tuple Length	1
	Calibration Key	CAL_SUPPLIED
	TransducerChannel Type Key	Sensor
	Operational Lower Limit	274
	Operational Upper Limit	353
Physical Units Interpretation	Under Worst Case Condition	2
	Self Test Key	No self-test funct_
	Data Model	Integer Unsigned
	Data Model Length	2
	Model Significant Bits	2
Other Attributes	Physical Units Interpretation	PUI_SL_UNITS
	Buffered Attribute	One Buffer
	End of Data Set Operation	Not Applicable
	Data Transmission Attribute	Commanded Modes
	Edge-to-report Attribute	Not Applicable
Physical Units	Radians	0
	Steradians	0
	Meters	0
	Kilograms	0
	Seconds	0
Time	Amperes	0
	Kelvins	1
	Moles	0
	Candelas	0
	TransducerChannel Update Time	0.1
Sampling	TransducerChannel Read Setup Time	0.025
	TransducerChannel Sampling Period	0.1
	TransducerChannel Warm-Up Time	30.0
	TransducerChannel Read Delay Time	0.025
	TransCh Self-Test Time Requirement	0.0
Process Data	Sampling Mode	Free-Running wo P
	Def Samp Mode	Free-Run wo PT Md
	Actuator-halt Attribute	Not Applicable
	Sensitivity Direction	Not Applicable
	Event Sensor Options	Not Applicable

Figura 17 Ventana para los valores del *TranducerChannel* TEDS.

Una vez capturados los datos en la Figura 17, estos son procesados y de acuerdo a la Figura 16 la información resultante es almacenada y desplegada en una ventana secundaria al usuario. En la Figura 18 se muestra la ventana con la información final.

```

Python Shell
File Edit Shell Debug Options Windows Help

TransducerChannel
['0x0', '0x0', '0x0', '0x68', '0x3', '0x4', '0x0', '0x3', '0x1', '0x1', '0xa', '0x1', '0x1', '0xb', '0
x1', '0x0', '0xc', '0x6', '0x32', '0x1', '0x0', '0x39', '0x1', '0x82', '0xd', '0x4', '0x43', '0x89', '
0x0', '0x0', '0xe', '0x4', '0x43', '0xb0', '0x80', '0x0', '0xf', '0x4', '0x40', '0x0', '0x0', '0x0', '
0x10', '0x1', '0x0', '0x12', '0x9', '0x28', '0x1', '0x0', '0x29', '0x1', '0x2', '0x2a', '0x1', '0x2',
'0x14', '0x4', '0x3d', '0xcc', '0xcc', '0xcd', '0x16', '0x4', '0x3c', '0xcc', '0xcc', '0xcd', '0x17',
'0x4', '0x3d', '0xcc', '0xcc', '0xcd', '0x18', '0x4', '0x41', '0xf0', '0x0', '0x0', '0x19', '0x4', '0x
3c', '0xcc', '0xcc', '0xcd', '0x1a', '0x4', '0x0', '0x0', '0x0', '0x0', '0x1f', '0x6', '0x30', '0x1',
'0x2', '0x31', '0x1', '0x2', '0x20', '0x1', '0x0', '0x22', '0x1', '0x1', '0xed', '0xe3']

[0, 0, 0, 104, 3, 4, 0, 3, 1, 1, 10, 1, 1, 11, 1, 0, 12, 6, 50, 1, 0, 57, 1, 130, 13, 4, 67, 137, 0, 0
, 14, 4, 67, 176, 128, 0, 15, 4, 64, 0, 0, 0, 16, 1, 0, 18, 9, 40, 1, 0, 41, 1, 2, 42, 1, 2, 20, 4, 61
, 204, 204, 205, 22, 4, 60, 204, 204, 205, 23, 4, 61, 204, 204, 205, 24, 4, 65, 240, 0, 0, 25, 4, 60,
204, 204, 205, 26, 4, 0, 0, 0, 0, 31, 6, 48, 1, 2, 49, 1, 2, 32, 1, 0, 34, 1, 1, 237, 227]
Ln: 94 Col: 0

```

Figura 18 Valores resultantes del *TransducerChannel* TEDS.

4.1.3. User's Transducer Name TEDS

Como se mencionó en la sección 3.4.2.6, esta hoja permite almacenar el nombre con el que el usuario final conoce al transductor inteligente. Una vez seleccionada esta hoja ante el usuario aparece una sola ventana para captura de la información. En la Figura 19 se muestra el diagrama de solicitud de información. A continuación, se describen las dos secciones aparte de la sección de identificación que comprende esta hoja. En la Figura 20 se pueden ver los diferentes campos que componen cada una de las secciones descritas dentro de esta hoja TEDS.

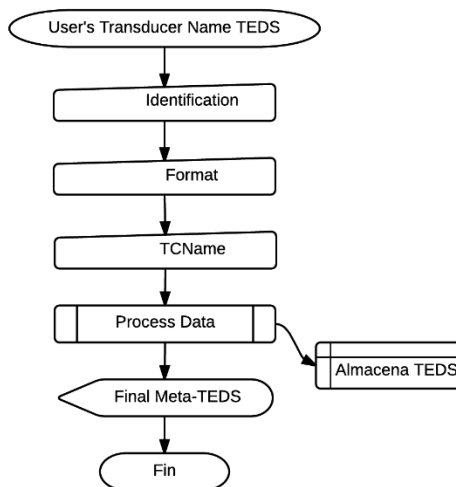


Figura 19 Diagrama para construir el *User Transducer Name* TEDS.

La sección “*Format*” está compuesta de un octeto en el cual se indica si la información contenida en la siguiente sección es definida por el usuario o si se está utilizando la hoja *Text-based* TEDS descrita en la sección 3.4.3.5, en este caso al no ser una hoja requerida

no se implementó en el sistema por lo tanto se considera que el identificador de las hojas siempre será definido por el usuario.

La sección “TCName” permite al usuario escribir el nombre por el cual desea se conozca al transductor que se está utilizando, el contenido queda a criterio de quien programa el transductor inteligente y este no está definido por el estándar. Se espera que mínimo el espacio de escritura disponible sea de 160 octetos.

Figura 20 Ventana para los valores del *User Transducer Name* TEDS.

Una vez capturados los datos en la Figura 20, estos son procesados y de acuerdo a la Figura 20, la información resultante es almacenada y desplegada en una ventana secundaria al usuario. En la Figura 21 se muestra la ventana con la información final.

```

Users Transducer Name TEDS
['0x0', '0x0', '0x0', '0x0C', '0x3', '0x4', '0x0', '0x0C', '0x1', '0x1', '0x4', '0x1', '0x00', '0x4B',
 '0x50', '0x55', '0x2D', '0x31', '0xed', '0xe3', '0xfe', '0x8b']
[0, 0, 0, 12, 3, 4, 0, 12, 1, 1, 4, 1, 0, 75, 80, 85, 45, 49, 254, 142]
Ln: 202 Col: 4

```

Figura 21 Valores resultantes del *User Transducer Name* TEDS.

4.1.4. Calibration TEDS

En la sección 3.4.3.1 se mencionó que esta hoja pertenece a la sección de hojas opcionales, sin embargo, se agregó en el generador por su importancia al contener la información utilizada para la corrección por software del transductor con el que se esté trabajando. Por corrección se refiere a la aplicación de una función matemática específica a los datos obtenidos de un transductor inteligente. El propósito principal es convertir los valores existentes en una forma deseada para su uso por el sistema. En la Figura 22 se muestra el diagrama de solicitud de información. A continuación, se describen las cuatro

secciones a parte de la sección de identificación que comprende esta hoja. En la Figura 23 se pueden ver los diferentes campos que componen cada una de las secciones descritas dentro de esta hoja TEDS.

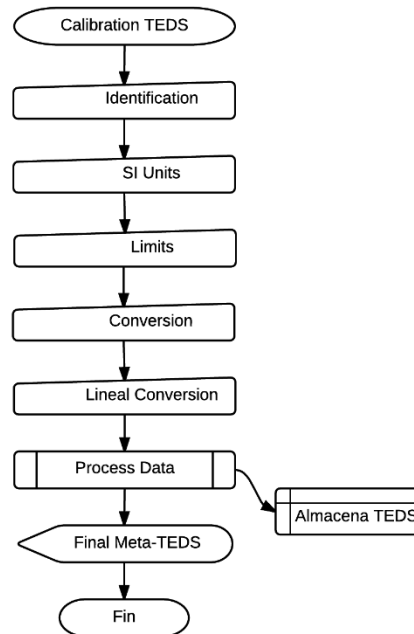


Figura 22 Diagrama para construir el *Calibration* TEDS.

La sección “*SI Units*” está compuesta por dos subsecciones, esta se utiliza cuando el transductor esta calibrado en el sistema internacional de unidades. En el primer campo se utilizan 4 octetos para almacenar el número que, si se multiplica por la salida del proceso de corrección y se agrega al número (en el sistema internacional) del proceso de intercepción, resultara en un número que representa el valor físico en el sistema internacional de unidades. Si al aplicar la corrección la salida ya está dada en el sistema internacional de unidades, el valor escrito será uno (seria el valor de m en la ecuación 1). En el siguiente campo se utilizan 4 octetos para almacenar el valor que si se agrega a la conversión al sistema internacional de unidades multiplicado por la salida del proceso de corrección resultará en un valor representante de una variable física con unidades del sistema internacional. Si la salida del proceso de corrección ya está dada en unidades del sistema internacional, el valor en este campo debe de ser cero (seria el valor de b en la ecuación 1).

La sección “*Limits*” contiene tres campos en donde el usuario registrara los valores limite a los cuales puede ser sometido el transductor una vez que los valores obtenidos del este

hayan sido procesados y que la corrección haya sido aplicada. Serán los valores de los límites inferior y superior a los cuales puede trabajar además del valor de incertidumbre de operación para cuando se trabaja bajo una peor condición especificada en el la *TransducerChannel TEDS*.

La sección “*Conversion*” permite seleccionar las operaciones anteriores y posteriores a la conversión, el primer campo selecciona que operación matemática se le tendrá que aplicar a la entrada del proceso de corrección para producir un valor de salida en las unidades expresadas en la *TransducerChannel TEDS*. En el segundo campo se selecciona que operación matemática se le tendrá que aplicar a la salida del proceso de corrección para producir un valor de salida en las unidades expresadas en la *TransducerChannel TEDS*. Una característica importante es el campo *Conversion method* donde el usuario selecciona cualquiera de los dos métodos disponibles para la conversión, el método lineal o el método general. Para el método lineal se utiliza directamente la ecuación de la línea recta mostrada en la ecuación 1.

$$y = mx + b = b + mx \quad (1)$$

Cuando la ecuación representativa de la respuesta del sistema no es lineal, entonces se utiliza el método general, para utilizar este método se necesita hacer un análisis de la ecuación representativa, el primer paso es la segmentación, dividiendo la curva de calibración en segmentos con la intención de alcanzar a un grado razonable la exactitud del sistema. El segundo paso es definir una curva que cumpla con la respuesta del transductor en cada segmento. Ambos pasos se realizan con la intención de disminuir los coeficientes representativos de la curva de respuesta. En este caso si se selecciona el método general, el sistema despliega una segunda ventana donde solicita los coeficientes de la ecuación.

The screenshot shows the 'Calibration TEDS' window with the following fields and values:

Identification		Limits		Process Data	
Type	3	Upper Limit	0	Process	
Length	4	Lower Limit	0		
Family	0	Uncertainty Limit	0		
Class	5	Conversion		Final Calibration TEDS	
Version	1	Pre-conversion	No Pre-Conversion		
Tuple Length	1	Post-conversion	No Post-Conversion		
SI Units		Conversion method	Lineal Conversion		
Slope	1	Lineal Conversion			
Intercept	273.15				

Figura 23 Ventana para los valores del *Calibration TEDS*.

De acuerdo a la selección del método de conversión se solicita más información al usuario, en la Figura 24 se muestra a imagen de solicitud que aparece cuando se selecciona la conversión lineal.

The screenshot shows the 'Lineal Calibration' window with the following fields and values:

Coefficient R. Slope	1	Next
Coefficient R. Intercept	273	

Figura 24 Ventana para los valores del *Conversion Method*.

Una vez capturados los datos en la Figura 23, estos son procesados y de acuerdo a la Figura 22, la información resultante es almacenada y desplegada en una ventana secundaria al usuario. En la Figura 25 se muestra la ventana con la información final.

```

Python Shell
File Edit Shell Debug Options Windows Help

Calibration TEDS
[0, 0, 0, 32, 3, 4, 0, 5, 1, 1, 12, 12, 30, 4, 63, 128, 0, 0, 31, 4, 67, 136, 147, 51,
51, 8, 63, 128, 0, 0, 67, 136, 128, 0, 250, 223]

[0x0, 0x0, 0x0, 0x20, 0x3, 0x4, 0x0, 0x5, 0x1, 0x1, 0x0c, 0x0c, 0x1e, 0x4, 0x3f, 0x80,
0x0, 0x0, 0x1f, 0x4, 0x43, 0x88, 0x93, 0x33, 0x8, 0x3f, 0x80, 0x0, 0x0, 0x43, 0x88, 0x8
0, 0x0, 0xfa, 0xdf]
Ln: 23 Col: 0

```

Figura 25 Valores resultantes del *Calibration TEDS*.

4.1.5.PHY TEDS

Como se mencionó en la sección 3.4.2.5 esta hoja (*PHY* proviene de la palabra en ingles *Physical* que significa física, haciendo referencia a la interfaz física de comunicación) permite que la interfaz de comunicación entre el TIM y el NCAP tenga toda la información necesaria para poder acceder a cualquier transductor inteligente, además, de la información común al TIM si es que tiene más de un transductor inteligente. Los octetos que pertenecen a esta hoja son constantes de solo lectura. El proceso de solicitud de

información se despliega en una sola ventana, donde el usuario tiene que capturar la información solicitada. En la Figura 26 se muestra el diagrama de solicitud de información. A continuación, se describe la única sección a parte de la sección de identificación que comprende esta hoja.

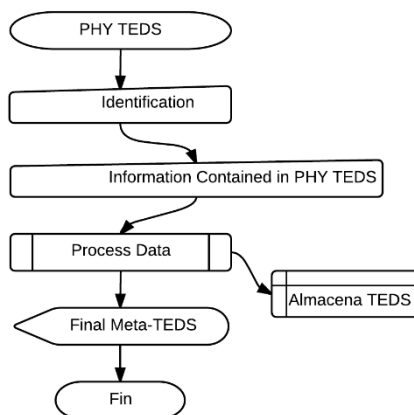


Figura 26 Diagrama para construir el *PHY TEDS*.

La sección “*Information Contained in all PHY TEDS*” permite configurar completamente esta hoja TEDS, es importante mencionar que el contenido y estructura de este campo está controlada por otros estándares dentro de la familia IEEE 1451 (ver sección 1.1.2 y 3.4.4).

El desarrollo de esta hoja está basado en que el sistema tendrá comunicación inalámbrica por lo tanto esta hoja esta acondicionada para trabajar con el estándar IEEE 1451.5 el cual utiliza los siguientes radios aprobados para el estándar (*Dot5AR*): IEEE 802.11, IEEE 802.15.4, IEEE Bluetooth y IEEE ZigBee.

Aunque se trate de una familia distinta a la de las hojas anteriores, la estructura general de una hoja *PHY* es definida por el mismo estándar IEEE 1451.0 por lo tanto todas las TEDS utilizan una estructura TLV (Tipo/Largo/Valor).

En el primer campo el usuario introduce el valor de identificación del radio que se estará utilizando, en la Tabla 7 se enumeran los distintos identificadores.

Tabla 7 Identificadores para el radio en *PHY* TEDS.

Valor	Identificación
0	IEEE 802.11
1	Bluetooth
2	ZigBee
3	IEEE 802.15.4
4-254	Reservado para futuras expansiones
255	Especificado por el fabricante

En el siguiente campo contiene el valor nominal máximo de datos pasando a través del radio (*Throughput*) seleccionado en bits por segundo (bps). Después se solicita la cantidad máxima de dispositivos que pueden estar conectados simultáneamente en forma operacional con este dispositivo. El siguiente campo contiene el número máximo de dispositivos que pueden estar registrados simultáneamente al nodo del radio.

El campo “*Encryption Support*” está compuesto por dos bytes. El byte más significativo (MSB) indica cual nivel de encriptación de capa MAC es soportado por el radio, en la Tabla 8 se enumeran las encriptaciones disponibles. El byte menos significativo contiene el largo de la llave de encriptación en bits.

Tabla 8 Enumeración para la encriptación de la *PHY* TEDS.

Valor	Encriptación
0	Sin encriptación
1	AES
2	SAFER
3	3DES

4-254	Reservado para futuras expansiones
255	Especificado por el fabricante

En el siguiente campo se indica si el nivel MAC de autenticación es soportado por el radio, el valor es un booleano. Para las siguientes dos secciones el usuario introduce los valores mínimo y máximo para el largo de la llave de encriptación soportado por el radio.

En el campo “*Maximun SDU Size*” el usuario introducirá el tamaño máximo en bytes para transferir entre este y otro dispositivo. Después, se solicita el periodo mínimo para iniciar la primera transmisión a un dispositivo no conectado, el valor se da en nanosegundos. En el siguiente campo se introduce el valor máximo de transacciones simultaneas que puede estar pendientes y son soportadas a lo largo del transductor.

En los siguientes tres campos se solicita información respecto a la energía, el radio y las comunicaciones. El primer campo debe de contener un valor distinto de cero si se quiere indicar que el radio esta energizado por una batería. El segundo campo indica la versión del código dentro del radio, un valor de cero indica que la versión es desconocida, un valor distinto de cero es interpretado como la versión actual del radio, el valor descrito tiene que ser con cuatro valores numéricos donde los primeros dos dígitos representan la mayor versión del radio y los dos dígitos menores representan la versión menos del radio. En el último campo se indica el máximo número de intentos que el radio hará antes de que automáticamente se desconecte de la operación y desconecte la unión entre dispositivos. Un valor de cero es por defecto e indica que el radio nunca se desconectara a menos que se le pida que lo haga.

Identification		Process Data	
Type	3	Process	
Length	4		
Family	5		
Class	13		
Version	0		
Tuple Length	1		
Information Contained in all PHY TEDS		Final User's Transducer Name	
IEEE1451.5 Radio Type	ZigBee		
Maximum Data Throughput	250000		
Maximum Number of Connected Devices	64000		
Maximum Number of Registered Devices	64000		
Encryption Support	AES		
Authentication	No		
Minimum Key Length	0		
Maximum Key Length	128		
Maximum SDU Size	127		
Minimum Access Latency	0.5		
Minimum Transmit Latency	0.5		
Maximum Number of Simultaneous Transactions	16		
Battery Powered	No		
Radio Version	1.0		
Maximum Retries Before Disconnect	0		

Figura 27 Ventana para los valores del *PHY* TEDS.

Una vez capturados los datos en la Figura 27, estos son procesados y de acuerdo a la Figura 26, la información resultante es almacenada y desplegada en una ventana secundaria al usuario. En la Figura 28 se muestra la ventana con la información final.

```

PHY TEDS
[0, 0, 0, 68, 3, 4, 5, 13, 0, 1, 10, 1, 2, 11, 4, 0, 3, 208, 144, 12, 2, 250, 0, 13, 2, 250, 0, 14, 2, 1, 128, 15, 1, 0, 16, 2, 0, 0, 17, 2, 0, 128, 18, 2, 0, 127, 19, 29, 205, 101, 0, 20, 29, 205, 101, 0, 21, 1, 16, 22, 1, 0, 23, 2, 1, 0, 24, 2, 0, 0, 247, 2]

[0x0, 0x0, 0x0, 0x44, 0x3, 0x4, 0x5, 0x0d, 0x0, 0x1, 0x0a, 0x1, 0x2, 0x0b, 0x4, 0x0, 0x03, 0xd0, 0x90, 0x0c, 0x2, 0xfa, 0x0, 0x0d, 0x2, 0xfa, 0x0, 0x0e, 0x2, 0x1, 0x80, 0x0f, 0x1, 0x0, 0x10, 0x2, 0x0, 0x0, 0x11, 0x2, 0x0, 0x80, 0x12, 0x2, 0x0, 0x7f, 0x13, 0x1d, 0xcd, 0x65, 0x0, 0x14, 0x1d, 0xcd, 0x65, 0x0, 0x15, 0x1, 0x10, 0x16, 0x1, 0x0, 0x17, 0x2, 0x1, 0x0, 0x18, 0x2, 0x0, 0x0, 0xf7, 0x2]

```

Figura 28 Valores resultantes del *PHY* TEDS.

4.2. Lector para Hoja de Datos Electrónicas para Transductor (TEDS)

Una herramienta secundaria fue desarrollada para leer las hojas TEDS almacenadas dentro del hardware de prueba, esta herramienta se basa en el estándar para poder identificar y llamar las hojas TEDS. Pero, al no ser un NCAP se han implementado algunos comandos adecuados para el hardware utilizado. El desarrollo de esta herramienta fue en Python versión 2.7. en conjunto con Arduino, como el que responde con la información solicitada.

Así como la herramienta para generar hojas TEDS está compuesta por el modulo principal y cinco módulos anexos, en este caso hay un módulo principal que anexa otros cinco módulos para administrar las peticiones de las TEDS, cada módulo es independiente por lo tanto cuando se desea extraer una hoja en particular basta con seleccionar la hoja deseada y esta será desplegada en pantalla.

Esta herramienta es una interfaz que interpreta los datos binarios almacenados en el hardware de prueba. Una vez procesados y con el formato adecuado son presentados al usuario en hexadecimal y decimal para su conocimiento. En la Figura 29 se muestra el diagrama de la herramienta lectora de hojas TEDS.

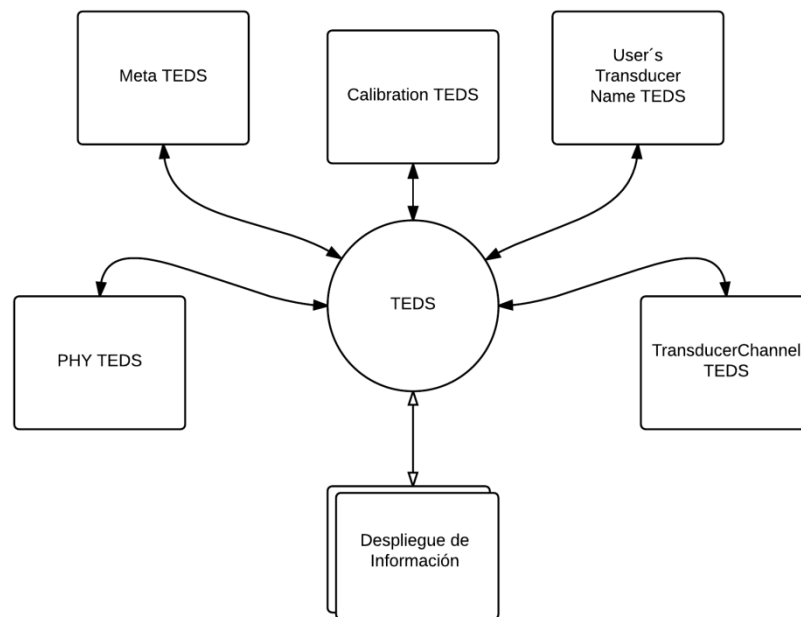


Figura 29 Diagrama general de la herramienta lectora desarrollada.

Una vez iniciado el menú principal, se despliega la interfaz en la pantalla del usuario. El usuario selecciona cuál de las hojas TEDS quiere extraer del hardware de prueba. Una vez seleccionada alguna de las hojas, de manera transparente para el usuario el sistema extrae la hoja y la acondiciona para mostrarla en pantalla, es importante mencionar que esta hoja es solo parte de la hoja TEDS final. En la Figura 30 se observa la pantalla principal de la herramienta lectora.

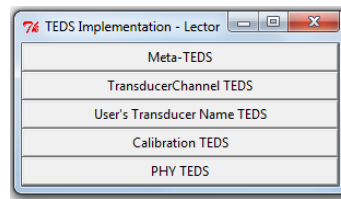


Figura 30 Ventana principal de la herramienta lectora desarrollada.

Una vez los datos son recibidos y adecuados para su presentación entonces son mostrados en pantalla al usuario. La hoja TEDS es desplegada en un archivo binario y hexadecimal al mismo tiempo.

4.3. Ejemplo de Aplicación

Para el comprobar el funcionamiento de la herramienta desarrollada se implementará una hoja de datos para un transductor que utilice un sensor de temperatura lineal. Los valores a utilizar son los introducidos en la Figura 14, los valores resultantes aparecen en la Figura 15. La sección de identificación es común para todas las Meta-TEDS ya que como se mencionaba anteriormente, son valores comunes para cualquier Meta-TEDS. El transductor fue producido el 30 de noviembre de 2015 y fue la primera unidad ese día, al año solo se produjo una unidad diaria. El transductor se fabricó en el laboratorio del Cuerpo Académico de Comunicaciones e Instrumentación Electrónica (CACIE) en la Universidad Autónoma de Baja California (UABC), con las siguientes coordenadas: Norte 31.86493 y Oeste -116.665826. Como solo hay un fabricante en este lugar el valor es 0. En la Tabla 9 aparecen los valores seleccionados e introducidos en esta sección, su representación binaria y el espacio que tienen asignado en bits.

Tabla 9 Valores de la sección “UUID Field”.

Campo	Valor	Valor Binario	Bits
Norte/Sur	N	1	1
Latitud	114820	00011100000010000100	20
Este/Oeste	O	0	1
Longitud	420387	01100110101000100011	20

Fabricante	0	0000	4
Año	2015	011111011111	12
Secuencia	2854440	1010111000111000101000	22

Los valores binarios son separados en octetos y convertidos en valores hexadecimales, como se observa en la Tabla 10.

Tabla 10 Octetos para la sección "UUID Field".

Binario	Hexadecimal
10001110	8E
00000100	04
00100001	21
10011010	9A
10001000	88
11000001	C1
11110111	F7
11101011	EB
10001110	8E
00101000	28

Obtenidos los valores, se convierten al formato TLV explicado en la sección 3.4.2 de esta tesis. Para la sección "UUID Field" el tipo de campo es 04, y como se pudo ver en la Tabla 9, son 10 posiciones para el valor de los datos por lo tanto es largo será 10 (0A en hexadecimal). Por lo tanto, estos dos octetos nuevos se colocarán al inicio de la cadena de valores, generando el valor TLV final para esta sección:

04 0A 8E 04 21 9A 88 C1 F7 EB 8E 28

Para la siguiente sección cada uno de los campos forma su propia TLV como se puede apreciar en la Tabla 12. Como los tres campos de tiempo son valores con punto decimal su representación es en flotantes, por lo tanto, para convertirlos a valores binarios se aplica el estándar IEEE 754-1985, de esta forma toman espacio de representación de 32 bits, cada uno de estos valores esta expresado en segundos. En la Tabla 11 aparece cada uno de los campos junto a su representación binaria, la cual es agrupada por octetos.

Tabla 11 Representación binaria de la sección “TEDS Time”.

Campo	Valor	Valor Binario	Bits
Time Out Operacional	0.5	00111111100000000000000000000000	32
Time Out Acceso Lento	1	00111111100000000000000000000000	32
Time Out Autorevision	5	01000000101000000000000000000000	32

Aunque en la Tabla 11 y en la Tabla 12 se representa el acceso de tiempo lento en realidad este valor no se incluirá en la TEDS final debido a que no hay operaciones de tiempo lento solo la prueba en automático, entonces, el transductor no la utilizara.

Una vez obtenidos los valores binarios para cada campo estos son divididos en octetos y convertidos a valores hexadecimales, se añade el tipo de campo y el largo de octetos para formar el TLV de cada campo, como se muestra en la Tabla 12. De esta manera pueden ser presentados cada uno de los campos en formato TLV. Por último, se formará el campo con el valor del número de canales disponibles en el transductor, este campo es relativamente simple de armar en formato TLV, su tipo de campo es 13 (0D) y la cantidad de octetos disponibles para representar el número de canales es 2 (02), como en este ejemplo solo utilizaremos un canal (00 01) tendríamos la representación:

0D 02 00 01

Tabla 12 Valores representativos en TLV para los campos de la sección "TEDS Time".

Tipo de campo	Largo	Valor			
10	04	00111111 00000000 00000000 00000000			
0A		3F	00	00	00
11	04	00111111 10000000 00000000 00000000			
0B		3F	80	00	00
12	04	01000000 10100000 00000000 00000000			
0C		40	A0	00	00

Como se puede observar en la Figura 15 los valores iniciales no corresponden directamente a los valores obtenidos después de procesar la información, esto es porque aún tienen que ser combinados, además, de agregarles otros valores propios de la estructura final. En la Tabla 13 *Meta TEDS final*. se muestran los valores finales obtenidos en la Figura 15 y se da la definición de cada segmento de valores. Los últimos dos valores son la suma para comprobar errores, este valor se obtiene al hacer el complemento a uno de la suma de todos los octetos anteriores, incluyendo los valores iniciales y que no son agregados hasta tener todos los valores de la Meta TEDS.

Tabla 13 Meta TEDS final.

MSB	LSB	Definición de los campos
00	00	Largo total
00	24	
03	04	Encabezado
00	01	
01	01	

04	0A	UUID
8E	04	
21	9A	
88	C1	
F7	EB	
8E	28	
0A	04	Tiempo operacional
3F	00	
00	00	
0C	04	Tiempo de prueba
40	A0	
00	00	
0D	02	Número de canales
00	01	
E5	08	Suma para evitar errores

En la Figura 17 se pueden apreciar los valores introducidos para generar la hoja *TransducerChannel TEDS* y en la Figura 18 se puede ver el resultado del procesamiento de la información. En la Figura 18 los primeros valores corresponden al número de octetos dentro de la hoja de datos, son cuatro octetos para representar este valor por esto los tres primeros valores son solo ceros, de acuerdo a esta figura después del cuarto valor hay 104 valores más incluyendo los dos octetos de suma para verificar errores. En la Tabla 14 se muestra la construcción de la hoja TEDS en su forma TLV expresando los valores en hexadecimal. Para una mejor referencia puede utilizar la Figura 17 y Figura

18 como comparación. Los valores utilizados para configurar la hoja TEDS son los deseados para el TIM, algunos corresponden al mismo sensor utilizado y otros a valores deseados para la operación del TIM.

Tabla 14 TransducerChannel TEDS Final.

Tipo	Largo	Valor	Nombre	Descripción
		00 00 00 68	Tamaño	Cantidad de octetos de la hoja TEDS
03	04	00 03 01 01	TEDS Id	Identificador de esta hoja TEDS
0A	01	01	Calib Key	Suministra información de calibración
0B	01	00	TCh Typ Ky	Solo un tipo de transductor (Sensor)
0C	06	32 01 00 39 01 82	Physical Units	32 = unidades físicas 39 = grados kelvin
0D	04	43 89 00 00	Op Low Lim	Valor de 0°C en el SI
0E	04	43 B0 80 00	Op Up Lim	Valor de 80°C en el SI
0F	04	40 00 00 00	Under Worst	Error de 2°C para el peor caso
10	01	00	Self Test	No contiene prueba automática
12	09	28 01 00	Data Model	Valores de ADC sin procesar
		29 01 02	Dt Md Leg	2 octetos para almacenar valores
		2A 01 02	Md Sig Bits	12 bits en dos octetos
14	04	3D CC CC CD	TCh Update	0.1s es el máximo valor entre lecturas
16	04	3C CC CC CD	TCh Red Set	25ms en estar listo
17	04	3D CC CC CD	TCh Samp P	Tiempo de actualización 0.1s
18	04	41 F0 00 00	TCh War Up	30s par estar listo

19	04	3C CC CC CD	TCh Delay	Peor caso de retraso 25ms
1A	04	00 00 00 00	Self Test	No se utiliza por esto vale 0
1F	06	30 01 02 31 01 02	Sampling	Transductor operando en modo libre sin trigger
20	01	00	Buffer Att	Solo se utiliza un buffer
21	01	00	Data Trans	No se utiliza por lo tanto se reserva
		ED E3	Checksum	Suma para evitar errores

En la Figura 20 aparece la hoja *User Transducer Name TEDS*, la construcción de esta hoja es peculiar ya que no implica el uso de otros estándares como algunas hojas TEDS. Es una hoja relativamente libre para el uso del fabricante. Como requisito indispensable está el uso del identificador para poder trabajar con la hoja. En este caso el identificador es:

03 04 00 0C 01 01

Donde 0C representa el valor decimal de 12 y es la clase que identifica a esta TEDS. El formato utilizado es 00 por lo tanto el usuario definirá el significado del texto utilizado. En forma TLV se representaría de la siguiente manera:

0A 01 00

El contenido del ultimo campo disponible es el nombre que el usuario le da al transductor. En este caso por ser el usuario el que lo define, el nombre no se expresa en la forma TLV, se utiliza una representación de valores en el sistema ASCII. El transductor se llamará KPU-01 y su representación es:

50 55 2D 31 ED E3

En la Tabla 15 se muestra la TEDS final, incluyendo los valores iniciales y el valor de la suma para evitar errores.

Tabla 15 User Transducer Name TEDS Final.

MSB	LSB	Definición de los campos
00	00	Largo total
00	0C	
03	04	Encabezado
00	0C	
01	01	
0A	01	Formato de implementación
00		
50	55	Nombre del Transductor
2D	31	
ED	E3	
FE	8B	Suma para evitar errores

En la Figura 23 se muestra la pantalla de captura de la TEDS de Calibración. Como en las demás hojas TEDS tenemos primero la información de identificación de la hoja de datos, en este caso la clase que identifica esta hoja es el número 5. Aunque esta hoja permite configurar más valores, esto solo se utilizan para este ejemplo debido que el sensor utilizado no necesita mayores datos, por lo tanto, varios campos pueden ser omitidos debido a que no aportan mayor ayuda para la calibración del sistema. A continuación, en la Tabla 16 se muestra la TEDS final, incluyendo los valores iniciales y el valor de la suma para evitar errores. Los valores están en números hexadecimales. En la Figura 25 se muestra la información procesada que fue capturada.

Tabla 16 *Calibration TEDS Final.*

MSN	LSB	Definición de los campos
00	00	Largo total
00	20	
03	04	Encabezado
00	05	
01	01	
0C	06	Formato conversión de unidades al SI
1E	04	
3F	89	
00	00	
1F	04	Valor de intercepción de la formula lineal
43	38	
93	33	
33	08	Conjunto de coeficientes para calibración
3F	80	
00	00	
43	38	
80	00	
FA	DF	Suma para evitar errores

La hoja “*Physical TEDS*” es particular en su forma de construcción, aunque utiliza el formato TLV, todos los valores que maneja son enteros, por lo tanto, su construcción no conlleva el uso de estándares adicionales como algunas otras hojas que manejan distintos tipos de acomodo y conversiones especiales entre valores. Esta hoja se vale del tipo y largo para añadir el valor dado por el usuario de acuerdo al radio de comunicación que está utilizando. En la Tabla 17 se mostrará a más detalle los valores que se utilizaron, se incluirá el largo total de la Hoja en un inicio y al final los valores para la suma contra errores en los datos, además, del encabezado o identificador de esta hoja en particular, la cual pertenece a la clase 13. La información concerniente al radio se tomó de la hoja de datos de un radio DIGI XBEE-PRO ZIGBEE.

Tabla 17 *Physical TEDS* Final.

Tipo	Largo	Valor	Nombre	Descripción
		00 00 00 44	Tamaño	Cantidad de octetos de la hoja TEDS
03	04	05 0D 00 01	TEDS Id	Encabezado
0A	01	02	Rdio Typ	Selección de radio = ZigBee
0B	04	00 03 D0 90	Data Tro	Troughput = 250 kbp
0C	02	FA 00	Conn Dev	Max. dispositivos conectados 64000
0D	02	FA 00	Reg Dev	Max. Dispositivos registrados 64000
0E	02	01 60	Encripta	Seguridad tipo AES
0F	01	00	Autentica	Sin autenticación en la comunicación
10	02	00 00	Min Key	Valor mínimo de encriptación = 0
11	02	00 80	Max Key	Valor máximo de encriptación = 128
12	02	00 7F	SDU	Max. servicio de Un. de datos = 127

13	04	3F 00 00 00	Min acc	Periodo mínimo para comunicarse con un dispositivo desconectado, 0.5 nanosegundos
14	04	3F 00 00 00	Min trans	Tiempo mínimo para transmitir el paquete más pequeño completo desde un radio, 0.5 nanosegundos
15	01	10	Max trans	Transacciones máximas simultaneas = 16
16	01	00	Battery	No energizado por batería = 0
17	02	01 00	Ver	Versión de radio = 1.0
18	02	00 00	Retries	Desconexión por el usuario = 0
		F7 02		Suma para evitar errores

4.4. Implementación de prueba en Hardware

Para validar el envío y recepción de las hojas TEDS que se han generado se implementó un sistema de prueba para la lectura y el almacenamiento de los datos. El sistema está basado en una tarjeta de desarrollo Raspberry Pi y una Arduino que se comunican por medio del puerto USB.

En la tarjeta Raspberry Pi se tienen dos programas distintos, el generador de hojas TEDS (explicado en la sección 4.1) y el lector de hojas TEDS (explicado en la sección 4.2). En esta sección (4.4) se explicará el software contenido en la tarjeta Arduino. Esta tarjeta se considera como una implementación de un TIM, sin embargo, no tiene funcionalidades completas ya que por el momento no podría responder a las peticiones hechas desde un NCAP real. Por lo tanto, sólo se estaría interactuando con la parte de administración de memoria del TIM. Lo anterior no quiere decir que no se puedan implementar un NCAP y un TIM con funcionalidades completas, la selección de estas tarjetas es con la finalidad

de evaluar la implementación futura. En la Figura 31 se muestra una fotografía del sistema de hardware implementado.

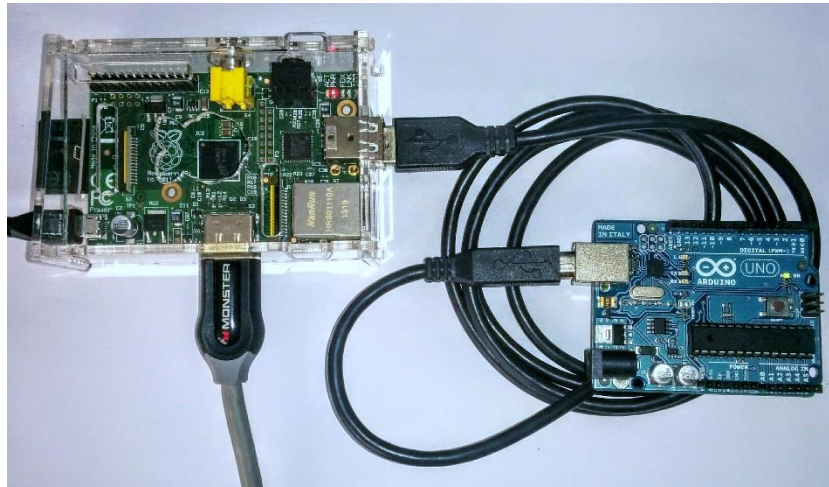


Figura 31 Raspberry Pi y Arduino implementados.

La Figura 32 muestra el contenido de cada uno de los dispositivos utilizados. Dentro de la tarjeta Arduino se pueden apreciar los elementos de software que la componen. El elemento Escritor de Hojas es solicitado por el Generador de Hojas, este se encarga de recibir las hojas TEDS generadas y almacenarlas en la sección correspondiente dentro de la memoria del Arduino. Puede escribir una nueva hoja TEDS cada vez que le sea solicitado, ya sea por cambios de valores, nuevos transductores o por corrección de datos. El elemento Lector de Hojas responde a las solicitudes hechas por el Lector de Hojas dentro del Raspberry Pi. Su función es buscar la hoja TEDS solicitada, que esta almacenada en la memoria del Arduino de acuerdo al orden que le dio el Escritor de Hojas. Una vez leído un valor este no es borrado o alterado, la modificación de cualquier dato solo puede realizarse por sobre escritura mediante el Escritor de Hojas.

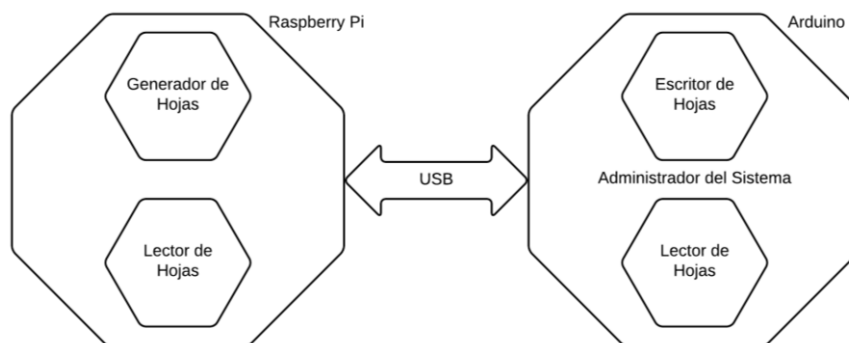


Figura 32 Relación entre el Hardware de prueba y Software desarrollado.

El elemento Administrador del Sistema se encarga de monitorear las solicitudes hechas desde el Raspberry Pi, de acuerdo a la solicitud, el administrador pasa la información a alguno de los dos elementos contenidos dentro del Arduino. En la Figura 33 se muestra el diagrama de funcionamiento dentro del Arduino, aquí se muestra el trabajo del Administrador del Sistema.

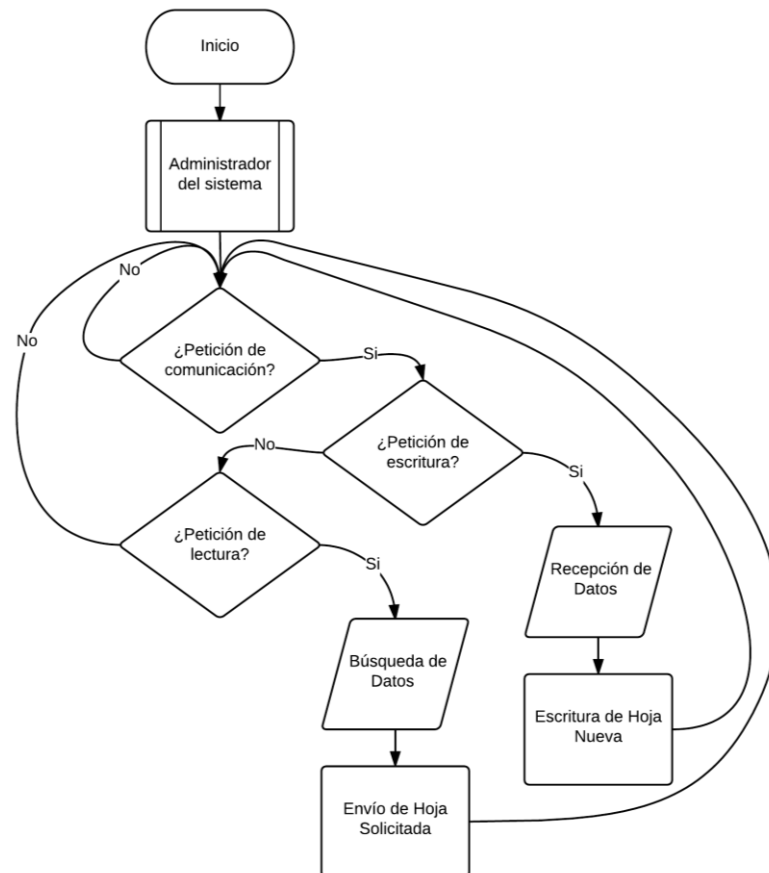


Figura 33 Diagrama de funcionamiento dentro del Arduino.

Una vez recibida una petición de escritura se espera la llegada de los datos y se inicia el proceso de escribir la información en la memoria EEPROM del Arduino. Si se recibe una petición de lectura, inicia una búsqueda dentro de la memoria EEPROM del Arduino, una vez encontrada la información solicitada, inicia el proceso de envío de la información. En ambos casos, una vez finalizadas las tareas el sistema vuelve a un punto de espera de una nueva petición de comunicación manejada por el Administrador del Sistema.

No puede haber solicitudes erróneas de información ya que hasta este momento los botones disponibles para solicitar las hojas TEDS no permiten hacer solicitudes distintas

a las opciones disponibles, debido a la estrecha relación entre los programas. Si se solicita alguna de las TEDS, el formato para desplegar las hojas solicitadas es el mismo que se utiliza para desplegar las hojas generadas.

4.5. Errores en el estándar

A lo largo de análisis y estudio que se hizo del estándar fueron apareciendo algunos errores de redacción que se enumeran a continuación con el único propósito de ayudar a futuros usuarios.

En la página 127 de [2], en la tabla 63, en el renglón número 40 de la columna *Field type*, menciona que el largo de los datos en octetos será de 1 cuando en la página 131 al hacer la descripción de este campo se mencionan 2 octetos, si se considera que el tipo de datos será un entero sin signo de 16 bits entonces, lo correcto es lo que aparece en la página 131.

En la página 309 de [2] en la tabla O.3 en la columna *Field* el valor expresado en bits del renglón *Latitude* no corresponde con el valor decimal, si se revisa la conversión falta un valor, en vez de convertir el numero 145 367 se convirtió el valor 14 367 por lo tanto la tabla O.4 está mal construida y la tabla O.5 con la hoja de datos final también contiene valores erróneos, aquí una muestra de porque es mejor utilizar un software generador de TEDS.

En la página 310 de [2] en la sección O.1.5 al convertir el valor en decimal 5.0 a su representación como punto flotante F32 en binario el primer valor que se pone es un 1 cuando en realidad si faltan valores para completar los 32 bits los valores de relleno son ceros. Al igual que con el error anterior, este error se lleva hasta la configuración final de esta hoja de datos por lo tanto la hoja de la tabla O.5 contiene errores.

4.6. Resultados académicos

En los siguientes apartados se mencionan los productos de investigación y divulgación que se produjeron al desarrollar el tema de esta tesis doctoral. Entre los productos están el desarrollo del software para generar y leer las TEDS, dos participaciones en congresos sobre la instrumentación para transductores de humedad del suelo y la descripción de

una aplicación específica del estándar IEEE 1451, un capítulo de libro que explicaba la relación del estándar IEEE 1451 y las redes de sensores inalámbricas.

4.6.1. Desarrollo de software

Como ya se ha mencionado las TEDS basadas en el estándar IEEE 1451 permiten a un sensor o un actuador contar con información esencial para su funcionamiento.

Para utilizar el software, se redactó un manual donde se describe el uso del programa realizado en Python, para la generación de las TEDS. El formato que se sigue en cada uno de los subtemas es: el nombre del subtema, una pequeña descripción de funcionamiento, la imagen del programa y la descripción de los datos que tendrá que proporcionar el usuario para poder generar las hojas TEDS. En la Tabla 18 se proporciona información sobre el trabajo realizado.

Tabla 18 Manual de uso del generador de TEDS.

Autor	Ismael Hernández-Capuchin
Año de publicación	2015
Título	Manual de usuario del sistema generador de Hojas de Datos Electrónicas para Transductores (TEDS - IEEE 1451)
Editorial	Cuerpo Académico de Comunicaciones y Electrónica – FIAD – Universidad Autónoma de Baja California

4.6.2. Memorias en extenso

Se presenta el desarrollo de un instrumento para registrar la humedad en el suelo haciendo uso del sensor Watermark®. El cual es, un sensor robusto y económico. El instrumento se ha desarrollado para ser de fácil instalación y uso. Además, se desarrolló un programa para interpretar de forma gráfica los datos almacenados y generar un reporte para el usuario. El instrumento fue probado de forma exitosa tanto en el laboratorio como en el campo.

En la Tabla 19 se proporciona información sobre el trabajo realizado.

Tabla 19 Congreso Internacional de Ingeniería Electro.

Autores	Ismael Hernández-Capuchin, Manuel Moisés Miranda Velasco, Miguel Enrique Martínez-Rosas, Humberto Cervantes de Ávila y Carlos Gómez Agis
Año de publicación	2010
Título del artículo	Instrumento de Medición de la Humedad del Suelo
Congreso	XXXI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA ITCH - ELECTRO 2010
Páginas	pp. 187-192
Editorial	INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CHIHUAHUA - DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN
Número de identificación de publicación	ISSN 1405-2172

Un transductor es un elemento que convierte una señal física, en otro tipo de señal física, por lo regular eléctrica, mediante sistemas acondicionadores. A pesar de ser fundamental en la mayoría de los sistemas electrónicos, hasta finales de la década pasada no existía un estándar dedicado para transmitir la información acondicionada. El estándar IEEE 1451, integra software y hardware dedicados, para acondicionar, procesar y transmitir información desde y hasta un transductor inteligente. El transductor inteligente contiene la Hoja de Datos Electrónica del Transductor (TEDS), esta es un elemento fundamental que contiene información detallada en tablas específicas para: calibración, procesamiento y operación del transductor inteligente. En esta investigación se explica el desarrollo de un sistema generador de TEDS, así como el hardware necesario para la

validación de estas en sistemas embebidos que utilicen transductores inteligentes. En la Tabla 20 se proporciona información sobre el trabajo realizado.

Tabla 20 Congreso Internacional de Investigación Celaya.

Autores	Ismael Hernández-Capuchin, Manuel Moisés Miranda Velasco, Miguel Enrique Martínez-Rosas y Humberto Cervantes de Ávila.
Año de publicación	2015
Título del artículo	Hojas de Datos Electrónicas para Transductores Inteligentes
Congreso	Congreso Internacional de Investigación Celaya 2015
Paginas	pp. 2524-2529
Editorial	Instituto Tecnológico de Celaya - AcademiaJournals.com
Número de identificación de publicación	ISSN 1946-5351 ISBN 978-1-939982-18-6

4.6.3. Capítulo de libro

En este capítulo se lleva al lector a través del estándar IEEE 1451 conocido comúnmente como “Interface para transductores inteligentes”, se analizó como está relacionado con redes de sensores inalámbricas para obtener aplicaciones prácticas en distintos sectores, pero, especialmente en campos de cultivo. Debidos a que el estándar IEEE 1451 es relativamente nuevo, en este capítulo se provee algunos principios básicos y se explican los diferentes componentes del estándar. Debido a las ventajas que las redes de sensores tienen y a la habilidad de manejar correlación de datos, la ocurrencia de eventos, el estado del sistema y el propio uso de información, es una selección perfecta para hacer equipo con el estándar IEEE 1451. El objetivo principal de este capítulo es ayudar a los lectores a obtener un mejor entendimiento de los transductores inteligentes dando al lector una clara idea de cómo las redes de sensores pueden ser utilizadas con

el estándar IEEE 1451. Los ejemplos utilizados muestran diversas posibilidades para nuevos avances. La combinación de redes de sensores inalámbricas y el estándar IEEE 1451 produce el desarrollo de sistemas embebidos para varias oportunidades de aplicación, desarrollo e investigación. En la Tabla 21 se proporciona información sobre el trabajo realizado.

Tabla 21 Capítulo de libro.

Autores	Ismael Hernández-Capuchin, Manuel Moisés Miranda Velasco, Miguel Enrique Martínez-Rosas, Carlos Gómez Agis y Horacio Luis Martínez Reyes
Año de publicación	2012
Título del capítulo	IEEE 1451 Smart Plug and Play Sensors with Application in Wireless Sensor Networks
Editores	Raúl Aquino Santos y Arthur Edwards Block
Título del libro	Embedded Systems and Wireless Technology: Theory and Practical Applications
Paginas	pp. 299-320
Editorial	CRC Press
Número de identificación de publicación	ISBN-10: 1578088038 ISBN-13: 978-1578088034

Capítulo V

Conclusiones

Cuando se trabaja en una investigación con tecnología que no es ampliamente utilizada de manera comercial, se presentan diversos retos, por ejemplo, investigar en manuales que aún son borradores o están en la etapa inicial de escritura, describir tecnologías que son inmaduras y que son susceptibles a cambios, analizar publicaciones que han sido escritas por cada autor de acuerdo al conocimiento que se tiene hasta el momento, entre otros. Los retos son grandes, sin embargo, en este capítulo se presentan las conclusiones finales al trabajo de investigación realizado.

5.1. Conclusiones

Las necesidades de medición de variables en nuestro entorno, es más amplia día a día, las personas demandan conocer diferentes parámetros que afectan su vida diaria como: temperatura, distancia, humedad, intensidad, cobertura, entre muchas otras variables, las cuales son alimentadas directa o indirectamente mediante señales provenientes de transductores. Sin este tipo de señales muchos de los servicios que se ofrecen hoy en día como agregados a la nueva tecnología no sería posible utilizarlos.

El estándar IEEE 1451 ha sido desarrollado con el propósito de generar una interfaz de comunicación común entre sensores, actuadores y el sistema de administración. Sumado a una industria en común entonces, el aprovechamiento crece de manera exponencial. Parte importante del estándar se dedica a la generación de TEDS, hojas que describen el comportamiento de los dispositivos que las contienen, el estándar es complejo en su funcionamiento por eso en este proyecto se trabajó para desarrollar un generador de hojas de datos inteligentes junto a un sistema que pudiera comprobar el correcto funcionamiento de las hojas generadas.

Para lograr el objetivo planteado en el capítulo 1 se desarrolló un software generador de TEDS, un software lector de TEDS, y un emulador para la comunicación entre módulos de hardware para simular la interfaz del transductor.

Los elementos escritos, diseñados y contruidos representan una aportación original para la investigación y el avance del estándar IEEE 1451. Además, esta tesis presenta

información en español que describe el funcionamiento del estándar. Se fabricó y utilizó hardware abierto (de uso libre) para construir partes del módulo TIM para pruebas de funcionamiento. El generador de TEDS y el lector de TEDS están basados en el manual para el manejo del estándar IEEE 1451 por lo tanto cumplen con las reglas básicas de operación. El desarrollo se basó en el estándar IEEE 1451.0 y IEEE 1451.5.

Los elementos diseñados y fabricados presentan inconvenientes menores debido a la falta de dispositivos o equipos de comparación, debido al poco o ningún uso que se hace del estándar en el mundo comercial actualmente. La comunicación utilizada para probar y analizar la escritura y lectura de las TEDS fue por medio de USB y sobre un puerto COM virtual. Los elementos de hardware y de software que se han desarrollado podrán ser utilizados en un futuro, en próximos análisis y mejoras del proyecto realizado.

5.2. Trabajo futuro

Como se mencionaba anteriormente existen aún algunas circunstancias que pueden ser perfectibles. Los elementos diseñados, programados y contruidos pueden llegar a ser modificados. Por ejemplo, el estándar contiene más elementos que se pueden utilizar ya que su aplicación no se limita a solo sensores sino también incluye actuadores. Elementos alámbricos conectados, pero también conectados de manera inalámbrica.

Construir un sistema funcional que incluya todos los elementos pertenecientes al estándar, un modelo que no solo incluya la simulación sino además el completo funcionamiento del sistema, seria el siguiente paso a desarrollar, llevar a cabo pruebas de campo y de uso en condiciones reales demostraría las capacidades reales del estándar IEEE1451. Un dispositivo con múltiples estándares de comunicación entre el TIM y el NCAP, distintos tipos de comunicación alámbricas e inalámbricas entre el NCAP y la red externa para entregar los datos al usuario final.

Otras áreas de investigación para el sistema realizado, incluyen analizar el comportamiento del estándar IEEE 1451 ante nuevos transductores o frente a tecnologías emergentes como la comunicación con luz visible (Li-Fi), computación en la nube (Cloud Computing) o las comunicaciones celulares de nueva generación (LTE, 5G) entre algunas otras que no existían o no eran comunes cuando el estándar fue propuesto en su primer manual de funcionamiento.

Capítulo VI

Bibliografía

- [1] R. Pallas, *Sensores y Acondicionadores de Señal*, Mexico D.F.: Marcombo - Alfaomega, 2007.
- [2] ISO/IEC/IEEE Information technology -- Smart transducer interface for sensors and actuators -- Common functions, communication protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) formats, New York: ISO/IEC/IEEE, 2010.
- [3] W. Liu, *Design of TEDS Writer, Reader and Testing System for Transducer Interface Modules based on the IEEE 1451 Standard*, Buffalo, New York: The State University of New York, 2006.
- [4] S. Manda y D. Gurkan, «IEEE 1451.0 compatible TEDS creation using .NET framework,» de *Sensors Applications Symposium, 2009. SAS 2009.*, New Orleans, LA, USA., 2009.
- [5] S. Matos, M. Fernandes, M. Reis, R. Morais, J. Lopez y F. Soto, «An interactive GUI tool to create and validate IEEE 1451 Smart Sensors TEDS,» de *Seminario Anual de Automática, Electrónica Industrial e Instrumentación 2012 (SAAEI'12)*, Guimarães, Portugal., 2012.
- [6] R. Seng, K. Lee y E. Song, «An implementation of a wireless sensor network based on IEEE 1451.0 and 1451.5–6LoWPAN standards,» de *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2011 IEEE*, Binjiang, China, 2011.
- [7] E. Song y K. Lee, «An Implementation of the Proposed IEEE 1451.0 and 1451.5 Standards,» de *Sensors Applications Symposium, 2006. Proceedings of the 2006 IEEE* , Houston, Texas, USA, 2006.
- [8] I. Popovic y N. Rajovic, «Design of IEEE 1451 smart transducer communication module for embedded application,» de *Circuits and Systems for Communications (ECCSC), 2010 5th European Conference on*, Belgrade, Serbia, 2010.
- [9] J. Nemeth-Johannes, V. Sweetser y D. Sweetser, «Implementation of an iee-1451.0/1451.5 compliant wireless sensor module,» de *Autotestcon, 2007 IEEE*, Baltimore, Maryland, USA, 2007.
- [10] T. Filho, A. da Silva, I. Grout y S. Rossi, «Network node with wireless and wired interfaces: Nios II processor and uClinux to development of a NCAP embedded (IEEE 1451.1) with two interfaces, wireless (IEEE 1451.5) and wired (IEEE

p1451.2),» de *Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), 2011 IEEE*, Binjiang, China, 2011.

- [11] E. Song y K. Lee, «Sensor Network based on IEEE 1451.0 and IEEE p1451.2-RS232,» de *Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings, 2008. I2MTC 2008. IEEE* , Victoria, Canada, 2008.
- [12] Esensors Inc, «IEEE 1451 Interfaces - Products,» eSensors, 1 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://eesensors.com/products/ieee-1451.html>. [Último acceso: 1 Septiembre 2014].
- [13] American GNC Corporation, «CRE-SSN,» AGNC, 1 Enero 2014. [En línea]. Available: http://www.americangnc.com/products/CRE_SSN.htm. [Último acceso: 1 Septiembre 2014].
- [14] JLM Innovation GmbH, «JLM USB2TII Smart Sensor Interface for IEEE 1451,» JLM, 1 Enero 2014. [En línea]. Available: <http://www.jlm-innovation.de/products/ieee1451>. [Último acceso: 1 Septiembre 2014].
- [15] M. F. Sanner, «Python: a programming language for software integration and development,» *Journal of molecular graphics & modelling*, vol. 17, nº 1, pp. 57-61, 1999.
- [16] F. Perez, B. E. Granger y J. D. Hunter, «Python: An Ecosystem for Scientific Computing,» *Computing in Science and Engineering*, vol. 13, nº 2, pp. 13-21, 2011.
- [17] R. P. FOUNDATION, «Raspberry Pi FAQs - Frequently Asked Questions,» [En línea]. Available: <https://www.raspberrypi.org/help/faqs/#introWhatIs>. [Último acceso: 1 Enero 2016].
- [18] I. Software in the Public Interest, «Debian -- Acerca de Debian,» 31 Diciembre 2015. [En línea]. Available: <https://www.debian.org/intro/about>. [Último acceso: 1 Enero 2016].
- [19] Arduino, «Arduino - Introduction,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction#>. [Último acceso: 1 Enero 2016].
- [20] O. Torrente Artero, Arduino. Curso práctico de formación, Madrid: Alfaomega; RC Libros, 2013.