

Desarrollo de protocolo de comunicaciones para redes HAN en SmartGrids

Development communications protocol for networks HAN in SmartGrids

Héctor Kaschel Cárcamo^{1*} Eduardo Viera Riquelme¹

Recibido 17 de abril de 2015, aceptado 9 de mayo de 2016

Received: April 17, 2015 Accepted: May 9, 2016

RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra el desarrollo y la implementación de un protocolo de comunicaciones de capa superior que considera las capas de sesión, presentación y aplicación, el que será transportado por medio de cualquier trama Ethernet. Este protocolo tiene como principal objetivo monitorear y controlar la comunicación de nodos pertenecientes a una red HAN (SmartGrids) de manera no invasiva a nivel de capa física, utilizando redes de datos existentes donde el protocolo propuesto coexistirá. Este trabajo comienza con una breve definición del concepto SmartGrids y redes HAN, para continuar con una explicación del desarrollo teórico del protocolo, finalizando con la implementación y breve análisis de tráfico que mostrará el funcionamiento de dicho protocolo.

Palabras clave: Redes inteligentes (*SmartGrids*), HAN (*Home Area Network*), TCP/IP (*Transport Control Protocol/Internet Protocol*), simulación de redes.

ABSTRACT

The present research work shows the development and implementation of a communications protocol of superior layers, which considers the layers session, presentation and applications, which will be transported through any Ethernet frame. This protocol has the primary objective to monitor and control the communication of the nodes belonging to the HAN network (SmartGrids) in a non-invasive physical layer level, using existent data networks where the proposed protocol will co-exist.

This work will begin with a brief definition of the SmartGrids and HAN networks concept, to go on with an explanation of the theoretical development of the protocol, and ending with the implementation and brief traffic analysis which will show the functioning of the protocol.

Keywords: SmartGrids, HAN, TCP/IP, network simulation.

INTRODUCCIÓN

SmartGrids, se ha transformado en un concepto que con el pasar de los días va tomando cada vez más relevancia, sobre todo analizando la imperante necesidad de optimización en el consumo de energía. El desarrollo de tecnologías para la implementación de este concepto, así como de cada uno de los sistemas

que lo conforma, deberá estar orientado a cumplir el fin de optimizar el consumo y generación de energía [1]. El desarrollo de tecnologías orientadas a la implementación del concepto de SmartGrids, son cada vez mayores [2], lo que implica una amplia gama de soluciones, las que pueden ir desde la implementación en forma segmentada o por subsistema [1], o del concepto completo de SmartGrids [3-6].

¹ Departamento de Ingeniería Eléctrica. Universidad de Santiago de Chile. Av. Ecuador 3519. Santiago, Chile.
E-mail: hector.kaschel@usach.cl; eduardo.vierar@usach.cl

* Autor de correspondencia

En esta oportunidad, los autores entregan el desarrollo de un protocolo de capa superior, es decir, un protocolo que en su desarrollo abarcará transversalmente las capas de sesión, presentación y aplicación del modelo de referencia OSI. Esto implica la generación de enlace entre los nodos de la red, así como la conformación o estandarización de los códigos a utilizar, sin dejar atrás los códigos asociados a la aplicación de los usuarios de esta red. Básicamente, esto se orientará al control y monitoreo de variables al interior de una red eléctrica de baja tensión, así como de la sincronía, control y monitoreo de los nodos pertenecientes a una red HAN (Home Area Network), lo que no implica que el protocolo a presentar sea supeditado solo a esta área, sino que podría ser capaz de abarcar otras áreas de SmartGrids como las redes NAN ((Neighborhood Area Network). El presente desarrollo es complementario a la propuesta entregada en [1].

El objetivo de esta investigación, es sentar algunas bases adicionales para la aplicación del concepto de SmartGrids en Chile y, por sobre todo, cumplir las directrices denotadas en la IEEE 2030 [5], generando como hipótesis principal la realización de un protocolo orientado al control de las comunicaciones entre los elementos de una red HAN, el que trabajará como un paquete de datos a modo de ser transportado por medio de una red de comunicaciones del tipo ISP/LAN o red de datos domiciliarios. La red HAN corresponde a una de las redes SmartGrids, que virtualmente operará utilizando como portador a la red de datos domiciliarios bajo el protocolo TCP/IP [13].

El presente artículo presenta un resumen del concepto SmartGrids y las principales áreas que congregan a ella. Posterior a esto se entrega de manera más detallada la implicación de las comunicaciones en una red HAN, para luego mostrar los detalles asociados al desarrollo del protocolo de esta red, su implementación, las pruebas y el análisis de los resultados obtenidos.

SMARTGRIDS Y RED HAN

SmartGrids en su definición primitiva: *“Es una forma de gestión eficiente de la electricidad que utiliza la tecnología informática para optimizar la producción y la distribución de electricidad con el fin de equilibrar mejor la oferta y la demanda*

entre productores y consumidores” [1]. Para llevar a cabo este concepto, la normativa vigente IEEE 2030[5], entrega una subdivisión de sistemas, los que están organizados en capas, quienes delimitan las áreas de aplicación y las especificaciones técnicas asociadas a cada una de las “áreas” o “redes” que conforman SmartGrids, asegurando la interoperabilidad transversal en todas las redes asociadas a SmartGrids [14].

SmartGrids en sí, como concepto, está conformado por grandes áreas de interés, las que están dadas por las áreas de la generación, transmisión y distribución, siendo esta última integrada por las redes HAN, NAN [5]. No obstante, la transmisión y distribución estarán cubiertas por medio de la red WAN (Wide Area Network). Es importante mencionar que las funcionalidades de cada una de estas redes son:

HAN: Encargada de la integración de elementos como integradores de energía (infraestructura AMI [1-5]), elementos de consumo y control.

NAN: Encargada de la integración, almacenamiento y transmisión de los datos obtenidos de cada uno de los integradores (infraestructuras AMI) de la redes HAN de un área determinado para finalmente ser enviados a la red WAN.

WAN: Red encargada de la integración de datos entre las áreas de generación y transmisión, pero que es alimentada por los datos enviados desde la HAN y NAN para su procesamiento e integración final.

En este caso, la red HAN constituye la referencia principal para el desarrollo de la presente investigación.

Es importante hacer un hincapié en que las redes HAN están orientadas al hogar, en donde interiormente cada elemento asociado a la adquisición, procesamiento de datos (AMI: Advanced Measurement Infrastructure) [1-5] y comunicación interna de cada uno de estos elementos, estará controlado por medio del protocolo propuesto a modo de establecer así, la interoperabilidad de sus capas y áreas (Figura 1).

Analizando la arquitectura de las redes HAN, que será el área de aplicación del protocolo propuesto, donde habrá una estructura principal encargada del control de la red y procesamiento de datos de esta,

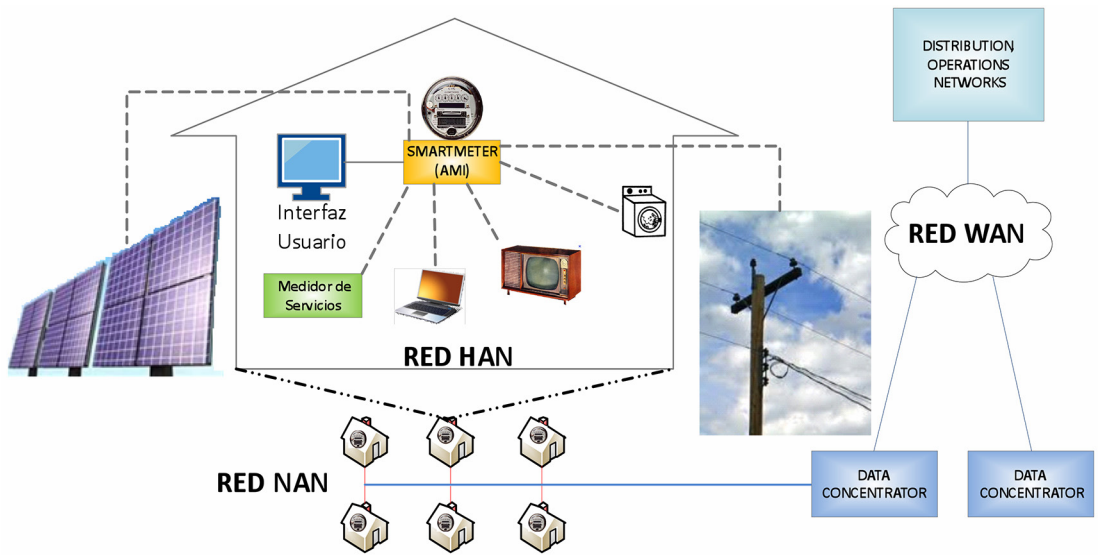


Figura 1. Arquitectura SmartGrids [1].

dato por la infraestructura AMI. En ella, podrán ser conectadas elementos como adquirentes de datos, elementos de maniobras, entre otros elementos, los que se integrarán por medio del protocolo propuesto.

Es importante mencionar que la estructura de comunicaciones utilizará como línea base, el protocolo TCP/IP, bajo la norma IEEE 802.3 (protocolo asociado al método de acceso CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) aplicado a las LAN Ethernet, en donde se especifica el funcionamiento de los niveles más bajos del modelo de referencia OSI, esencialmente las capas físicas y la subcapa MAC (Medium Access Control) [11]. Esto generará una compatibilidad con los elementos pertenecientes a una red de datos existente (Internet en el Hogar) [1] y, por otro lado presenta un gran beneficio, debido a que este protocolo puede ser transportado a nivel de comunicaciones inalámbricas como WiFi, o por medio de BPL (Broadband Over Power Lines) [4-7], tecnologías que actualmente son las más aplicadas y estándar a nivel mundial.

SISTEMA DE COMUNICACIONES EN RED HAN

El protocolo de red HAN propuesto, tendrá como objetivo principal establecer la interoperabilidad

[6] entre los dispositivos pertenecientes a esta red HAN y los elementos propios de una red de comunicaciones domiciliaria del tipo LAN. En principio, se establece que la red de hogar, será una red de internet entregada por algún ISP, la que será del tipo Ethernet TCP/IP.

No obstante, y como se mencionó anteriormente, cada nodo de la red HAN deberá estar incorporado a la red de datos o red LAN (Internet en el Hogar), como se indica en la Figura 2. Cabe mencionar, la red HAN es una red híbrida, que establece los canales de comunicación respectivos, tanto por la IEEE 802.3x (en el caso de los nodos que son alámbricos, y por la red inalámbrica IEEE 802.11x, incluyendo dispositivos BPL regidos por la IEEE 1901.1.1.

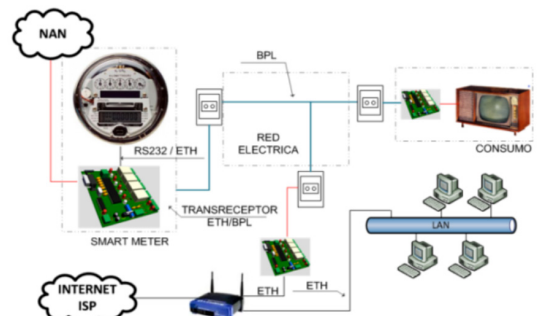


Figura 2. Diagrama de bloques red HAN [1].

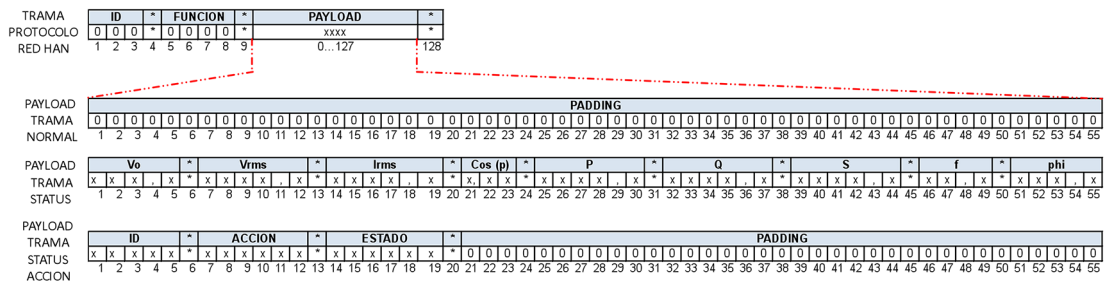


Figura 3. Disección trama red HAN (casos).

Descripción del protocolo propuesto

El protocolo propuesto, que utilizará la red HAN, en principio une el concepto de las tecnologías de comunicaciones industriales, así como el modelo de cifrado de los sistemas GPS, donde las tramas de datos “propietarias” están asociadas tanto a protocolos industriales como al cifrado en las tramas de información de los sistemas GPS. Estos son capaces de convivir sin problemas en el ambiente de su protocolo portador. Es decir, cuando un protocolo es capaz de soportar al otro, como es el caso de TCP/IP, donde el datagrama IP transporta al segmento TCP. El protocolo propuesto, es muy simple, ya que tiene como base de conformación de la trama al protocolo de transmisión de datos GPS NMEA 0183², el que maneja su información en base a símbolos cifrados en ASCII con delimitadores por cada campo de datos como “*”, lo que facilita los algoritmos de disección de la trama, lo que implica la eliminación de métodos de cifrados para la traducción directa del contenido de ella. La trama del protocolo de red HAN trabajará en la capa de aplicación y presentación. Este protocolo trabajará bajo la modalidad de *Polling* o encuesta de cada nodo para el control de acceso al medio, eliminando los métodos de detección y/o anticipación ante colisiones. A su vez, el sistema de comunicación contará con interrupciones frente a fallos o acciones automáticas que haya sido necesario tomar en la red HAN, los que están debidamente señalizados y mostrados en la Tabla 1. Por otro lado, la trama de este protocolo utilizará un tamaño de solo 128 bytes, quienes son el tamaño óptimo para

utilizar en la memoria de cualquier procesador o microcontrolador de gama media (de 8 bits).

El protocolo propuesto estará dividido en tres partes: ID, FUNCIÓN y PAYLOAD.

La primera parte es ID estará compuesta por 3 bits, quien entrega un total de $2^3 = 8$ direcciones como máximo, de las que la dirección “000” corresponderá al nodo maestro, o *SmartMeter*. Posteriormente, el campo PAYLOAD corresponde al segmento bloque FUNCIÓN. Este tiene por misión identificar cuál es el “motivo” de la trama, o la función que esta deberá ejecutar. Por último, se encuentra la trama neutra o *Padding* la que simplemente es una trama sin datos que solo estará rellena de “0” la que será usada en

Tabla 1. Sección función, asignación de códigos, trama protocolo red HAN.

Cabecera				Descripción
B1	B2	B3	B4	
0	0	0	0	<i>Reserved</i>
0	0	0	1	<i>Hello</i>
0	0	1	0	<i>Acknowledge</i>
0	0	1	1	<i>Status</i>
0	1	0	0	<i>Sent Data Frame</i>
0	1	0	1	<i>Fin</i>
0	1	1	0	<i>Interruption</i>
0	1	1	1	<i>Action</i>
1	0	0	0	<i>Action Code</i>
1	0	0	1	<i>Action Status</i>
1	0	1	0	<i>Syncronization</i>
1	0	1	1	<i>Sent Status Frame</i>
1	1	0	0	<i>Timeout</i>
1	1	0	1	<i>Reserved</i>
1	1	1	0	<i>Reserved</i>
1	1	1	1	<i>Reserved</i>

² NMEA 0183 El protocolo NMEA 0183 es un medio por el cual los instrumentos marítimos y también la mayoría de los receptores GPS pueden comunicarse. Ha sido definido, y es controlado, por la *National Marine Electronics Association*.

tramas de reconocimiento o confirmación. El formato de las anteriores tramas se muestra en la Figura 3.

Según lo mencionado anteriormente, respecto del bloque de funciones de la trama de la red HAN, esta posee el bloque funciones, el que genera $2^4 = 16$ opciones para esta trama, las cuales para esta trama son suficientes, dado que estas se potenciarán con el *payload* de la sección, la cual posee otras funciones adicionales que serán tratadas de manera jerárquica, en base a la función que la trama de red HAN posea.

Las funciones anteriormente descritas, se encuentran en la Tabla 1, cuyas funciones son las siguientes:

- 1) **Hello:** Corresponde al saludo desde el nodo maestro.
- 2) **Acknowledge:** Corresponde a la confirmación de una acción enviada desde otro nodo, ya sea del maestro o esclavo.
- 3) **Status:** Corresponde al requerimiento de envío del segmento Status Frame o Status Data.
- 4) **Status Data:** Corresponde a la trama de datos de variables eléctricas.
- 5) **Fin:** Corresponde a la finalización de comunicación entre el nodo maestro y esclavo.
- 6) **Interruption:** Corresponde al envío del *flag* de interrupción ante un estado de urgencia que debe ser atendido en la red HAN.
- 7) **Action:** Corresponde al aviso de envío de un segmento con comandos.
- 8) **Action Code:** Corresponde al envío de un código determinado de acción a realizar.
- 9) **Action Status:** Corresponde al envío de confirmación de que una acción se realizó en forma normal, o esta no se ha llevado a cabo.
- 10) **Synchronization:** Corresponde al envío de una trama de sincronización en la red. Esta se utilizará para el reconocimiento de nodos por parte del maestro en una red.
- 11) **Sent Status Frame:** Corresponde al envío de una trama de estados, que se realiza después de un comando, o que se utiliza para sincronía de red.
- 12) **Timeout:** Corresponde al tiempo de espera agotado de una trama *Acknowledge*, o una trama de estados, donde este *flag* ayudará para reenviar el comando.

Al analizar las subtramas o segmentos contenidos en el *payload* de la trama de red HAN, se aprecian tres tipos de subtramas, las que poseen ciertas

funcionalidades que son parte del flujo de trabajo de la red HAN. Las funcionalidades de cada una de las Frame se definen a continuación:

Padding: Como se dijo anteriormente, el *padding* es un segmento que estará rellena de “0”, y será utilizada cada vez que solo se haga requerimiento de tramas de datos del tipo *Status Frame/Data Frame*. Está compuesta de 55 bytes.

Data Frame: Este segmento transporta todas las variables eléctricas de un nodo del sistema de adquisición de datos. Esta trama llevará todos los datos correspondientes a las variables eléctricas asociadas a SmartGrids en forma seccionada y con sus separadores de campo asociados, los datos a transportar serán:

- V_0 , Amplitud de tensión máxima en un ciclo.
- V_{RMS} , Tensión efectiva.
- I_{RMS} , Corriente efectiva.
- $\cos(\varphi)$, Factor de potencia.
- P , Potencia activa.
- Q , Potencia reactiva.
- S , Potencia compleja.
- f , Frecuencia de red.
- φ , Angulo de desfase de la tensión y corriente.

Status Frame: Esta trama está subdividida en tres partes, la primera corresponde a un ID, el que corresponde al identificador de un equipo, que puede ser un actuador. La segunda parte, corresponde a la acción o identificador de la acción a realizar. La tercera parte, corresponde al estado de la acción realizada. Cada uno de estos segmentos está dividido en cinco bytes. Esta trama está directamente ligada a la ejecución de acciones en elementos actuadores, así como también para el estado de los dispositivos de la red.

Respecto del dimensionamiento de los *payloads* asociados a los posibles tipos de tramas a obtener, estos están dados por el caso que emplea más caracteres. Es decir, una trama de estado, la que como se aprecia en la Figura 3, posee magnitudes diversas, quienes al sumar la cantidad de caracteres se obtienen 55 bytes en total, los que podrían ser ampliados con los 63 bytes de reserva.

Es importante mencionar, que la comunicación de la red estará dada por un tiempo de respuesta o

Timeout, es decir, un tiempo máximo de espera de respuesta de un nodo, para lo que, si la transmisión es infructuosa, el sistema ejecutará un segundo intento, donde el sistema tratará de restablecer la comunicación por una segunda vez. Si esta no es resuelta, el sistema dará por abandonado de la red al nodo en cuestión. Para realizar el cálculo de este tiempo, es necesario conocer algunos tiempos importantes como cuánto es el tiempo que demora un ciclo de instrucción del procesador en un nodo. Para ello, y sabiendo que un ciclo de máquina de un procesador, corresponde al tiempo en que el *Program Counter* de cualquier sistema procesador de ocho bits (MCU, DSP, etc.) tarda en procesar y decodificar una o más instrucciones dadas. Se estima, que cuatro ciclos de reloj corresponden a un procesamiento del *Program Counter*. En la Figura 4, se muestra el diagrama de tiempos en la ejecución de una instrucción en una MCU.

El ciclo de máquina está compuesto por cuatro períodos de la frecuencia de reloj. Esto implica que el tiempo de un ciclo de máquina (TCM) corresponde a:

$$TCM = 4 \cdot \left(\frac{1}{f_{CLK}} \right) = \frac{4}{40000000} = 0,1\mu s \quad (1)$$

Donde *TCN* (Tiempo de ciclo de máquina) y f_{CLK} es la frecuencia de reloj del procesador o MCU para el cual en este caso empírico se ha desarrollado en base a un reloj de 40 MHz.

Ahora bien, la instrucción más compleja que el procesador tiene, es la transmisión por el UART, la cual para su ejecución total, utiliza aproximadamente cuatro ciclos de máquina, por lo que este tiempo genera un ciclo de instrucción o *C.I.*

$$C.I. = TCM \cdot 4 = 0,4\mu s \quad (2)$$

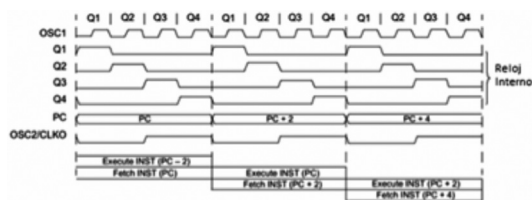


Figura 4. Diagrama de tiempos ejecución de instrucciones en un MCU.

Tiempo estimado en las MCUs con arquitectura Von Neumann.

Considerando que el tiempo esperado para la recepción de un paquete es función del ancho de banda disponible, este se calculará en su peor condición, la cual corresponderá al 10% del ancho de banda total disponible en una red altamente congestionada y tráfico constante [9]. Adicionalmente el ancho de banda total estará dado por un enlace comercial típico de 4 Mbps, del cual se dispondrá solo del 10% del ancho de banda total, por ende el tiempo de respuesta T_{RX} que se puede esperar corresponderá a:

$$T_{RX} = \frac{128 \text{ bytes}}{\left(\frac{4M \text{ bits}}{8} \right) \cdot 20\%} = 1,28 \text{ ms} \quad (3)$$

Finalmente, se modelará el proceso de transmisión de la red HAN, con un sistema de colas de una fila y un servidor, que se denotarán con una distribución exponencial para los tiempos de arribo de paquetes de información al convertor UART/SPI a Ethernet de la forma:

$$dF(x) = \lambda e^{-\lambda x}, \quad x > 0 \quad (4)$$

Y una distribución *Poisson* para la llegada de paquetes al convertor UART/SPI a Ethernet de la forma:

$$dF(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (5)$$

De lo anterior, se desprende un tiempo de respuesta promedio del sistema completo de $\lambda = 2 \text{ ms}$, considerando al convertor como el servidor del sistema a un porcentaje nominal de utilización de este de un 66%, entrega que el tiempo de espera promedio del sistema corresponde a:

$$T_s \approx 11 \text{ ms} \quad (6)$$

Lo que implica que en el peor escenario, el tiempo de respuesta de un nodo en referencia al maestro, corresponde a la suma de los tiempos T_{RX} y T_s . Por otro lado, el tiempo total para el *Timeout* corresponderá a:

$$Timeout = T_s + T_{RX} \approx 12,3 \text{ ms} \quad (7)$$

Como era de esperar, el tiempo correspondiente al ciclo de proceso, o ciclo de máquina, es despreciable frente al tiempo de recepción en la peor condición esperada. En base a lo anterior, los tiempos de espera, o *Timeout* serán en base a 15 ms dando al sistema un porcentaje de seguridad del 18%, tiempo que será considerado al momento de que se generen retardos en la red, lo que permitirá la resolución de estas problemáticas obteniendo un sistema ordenado.

Para conocer más acerca de la operación de este protocolo, se muestran algunos diagramas de tiempo, en los que se especifica el flujo en la comunicación de la red HAN, para tres de las funciones que esta tendrá. Estos flujos serán:

- Saludo y solicitud de envío de trama (*Data Frame*).
- Saludo y solicitud de accionamiento de algún equipo (*Status Frame*)
- Interrupción.

En la Figura 5 se muestra el primer flujo de comunicación, el maestro o *SmartMeter*, encuesta a un

nodo, donde envía una trama con la función *Hello* y el ID del nodo a ser encuestado. Este, al recibir el mensaje direccionado responde con una trama con *ACK*; en ambos casos el *payload* de las tramas se encuentra relleno con "0". Posterior a esto, el maestro, envía la solicitud de trama de datos con variables eléctricas o función *Status*, donde el nodo receptor enviará nuevamente una trama *ACK* y 1 ms después enviará la trama *Data Frame* con todas las variables eléctricas obtenidas en ese instante.

Finalmente, el maestro enviará un mensaje *ACK* y posterior a eso enviará una trama *Fin* para terminar la comunicación con ese nodo, y de esa manera seguir con el siguiente nodo de la red. Del mismo modo, se puede explicar el caso del flujo de comunicación para la solicitud de activación de algún elemento.

En el caso del tratamiento de interrupciones, el nodo esclavo enviará una trama de interrupción directamente al nodo maestro. Este actuará enviando de forma inmediata una trama de requerimiento *Status*, a modo de ver el estado de las variables asociadas al nodo, posteriormente, se enviará la trama *ACK* y se finalizará la comunicación con una trama *Fin*.

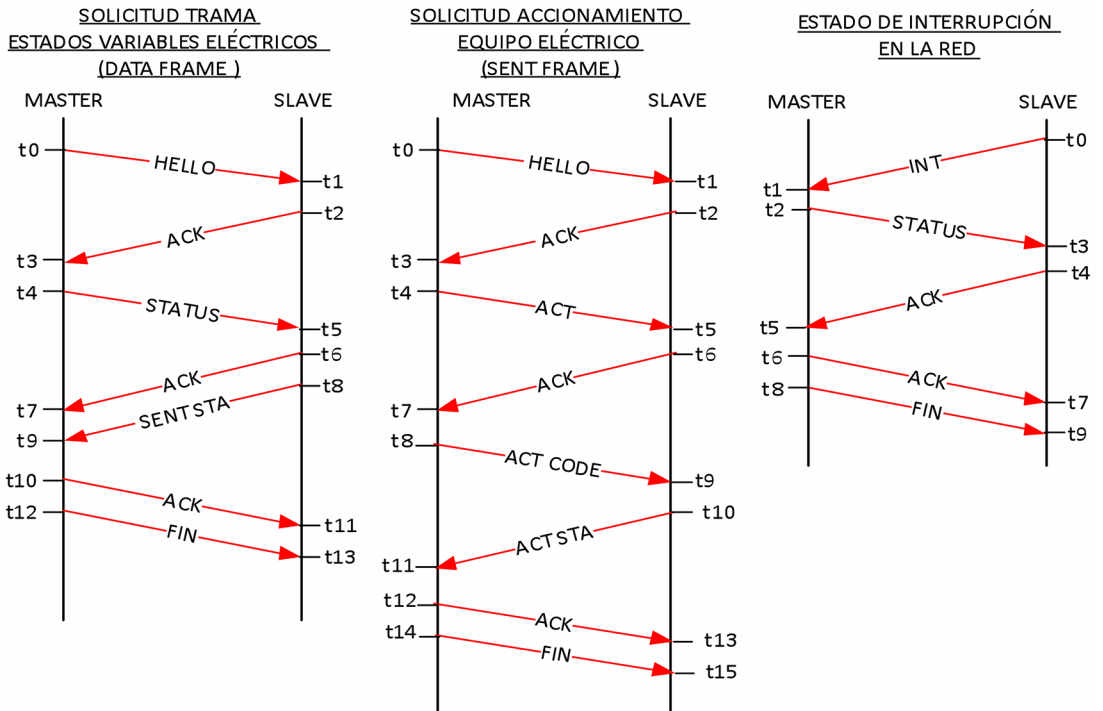


Figura 5. Diagrama de tiempos flujo comunicación protocolo red HAN.

Para poder entender de mejor manera como el sistema funcionará en plenitud, es necesario conocer el funcionamiento que este deberá tener, debido a que la comunicación propuesta es totalmente cíclica. Para llevar a cabo esta tarea, se realizará el análisis de la recepción y transmisión de una trama básica de microred, es decir, para envío de saludo y recepción de mensaje, esto a modo de entender la operatoria completa que la comunicación tendrá, la que principalmente estará basada en la comparación de tablas de información, quienes estarán grabadas en el *firmware* del procesador de comunicaciones (componente que deberán tener los elementos conformantes de la red) [10-12].

En la Figura 6 se muestra el diagrama de flujo que se ejecutará en el *firmware* del procesador de comunicaciones.

Es importante mencionar que la coordinación del sistema principalmente estará dada por el software del nodo maestro o SmartMeter, que corresponde al sistema de infraestructura o AMI.

En el caso de la recepción de una trama, el sentido del flujo es inverso, y por la misma razón la complejidad en la manipulación de datos aumenta.

En la Figura 7 se muestra la operatoria del flujo de recepción de datos.

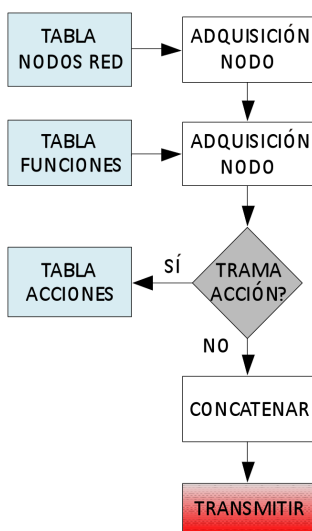


Figura 6. Diagrama de flujo transmisión de trama protocolo red HAN.

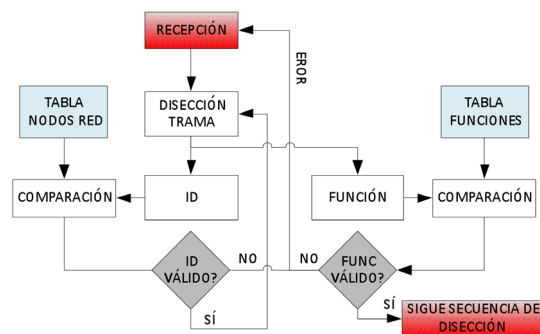


Figura 7. Diagrama de flujo recepción de trama protocolo red HAN.

Como anteriormente se mencionó, la principal operatoria al momento de la recepción, es la disección de la trama en forma de partes, es de gran utilidad para esta operatoria, el uso de separadores, los que en este caso serán el símbolo “*?”.

De esta manera un algoritmo de búsqueda podrá extraer datos de cada uno de los segmentos de la trama. Finalmente ambos algoritmos, tanto el de recepción como el de transmisión estarán gobernados por el software de la estructura AMI, quien será el controlador de la red en toda su magnitud [8].

IMPLEMENTACIÓN Y PRUEBAS DE TRÁFICO

La implementación del protocolo de la red HAN, se ha realizado con dos nodos. El primero de ellos correspondientes al nodo maestro, o estructura AMI de la red HAN, y el otro, correspondiente a un nodo de adquisición de datos (datos de mediciones de variables eléctricas) de la red HAN, en donde ambos nodos fueron modelados y simulados en base a sus funciones en la red HAN, pero que desde el punto de vista de red de datos, estos fueron interfaces de comunicación y computadoras en que físicamente interactuaron para poder realizar las pruebas. Esto se realizó a modo de comprobar la hipótesis principal, que es poder tener una red “virtual” que se gestione así misma por medio de un protocolo que sea transmitido por medio de una red física como es la red domiciliaria. También mediante estas pruebas analizarán y diseccionarán los paquetes del protocolo de la red HAN, a modo de revisar el flujo de comunicación de este, donde posteriormente se

realizará un análisis de la carga del protocolo de la red HAN en un tiempo dado.

Desde el punto de vista sistémico, en la Figura 8, se aprecia el despliegue de los diferentes componentes de la red de datos domiciliaria, quien estará compuesto por un router WIFI, con un switch integrado, el cual proporcionará conectividad tanto en forma alámbrico, así como inalámbrica, combinando los estándares IEEE 802.3x y IEEE 802.11x.

El diagrama de la Figura 8 también muestra que sobre esta red se formará la red HAN, la que convivirá en el entorno de la red de datos domiciliaria. Para realizar las pruebas, se ha tomado en consideración el flujo de comunicación normal mostrado y descrito en la Figura 5, dinámica para quien se espera obtener los mensajes especificados en la Tabla 2.

Por otro lado, se ha utilizado un software del tipo *Sniffer* para poder analizar el tráfico generado, el que es el software *Wireshark*. Este software especializado para el análisis de tráfico, tomará al

Tabla 2. Especificación mensajes.

Item	Nodo	Dirección Fte.	Mensaje	Dirección Destino
1	Maestro	000	HELLO	001
2	Secundario	001	ACK	000
3	Maestro	000	STA	001
4	Secundario	001	ACK	000
5	Secundario	001	SEND_STA	000
6	Maestro	000	ACK	001
7	Maestro	000	FIN	001
8	Secundario	001	ACK	000

nodo maestro de IP 10.0.1.16 y lo establecerá en modo promiscuo. Es decir, coleccionará todo el tráfico que se establezca por él. Posteriormente, al realizar la disección de paquetes de información, se podrá ver que los tráficos TCP orientados al tráfico en análisis, es decir, los canales correspondientes a las IP 10.0.1.16 en el caso del nodo maestro o estructura AMI, y la IP 10.0.1.101 correspondiente al nodo de adquisición de datos o nodo secundario en la red HAN.

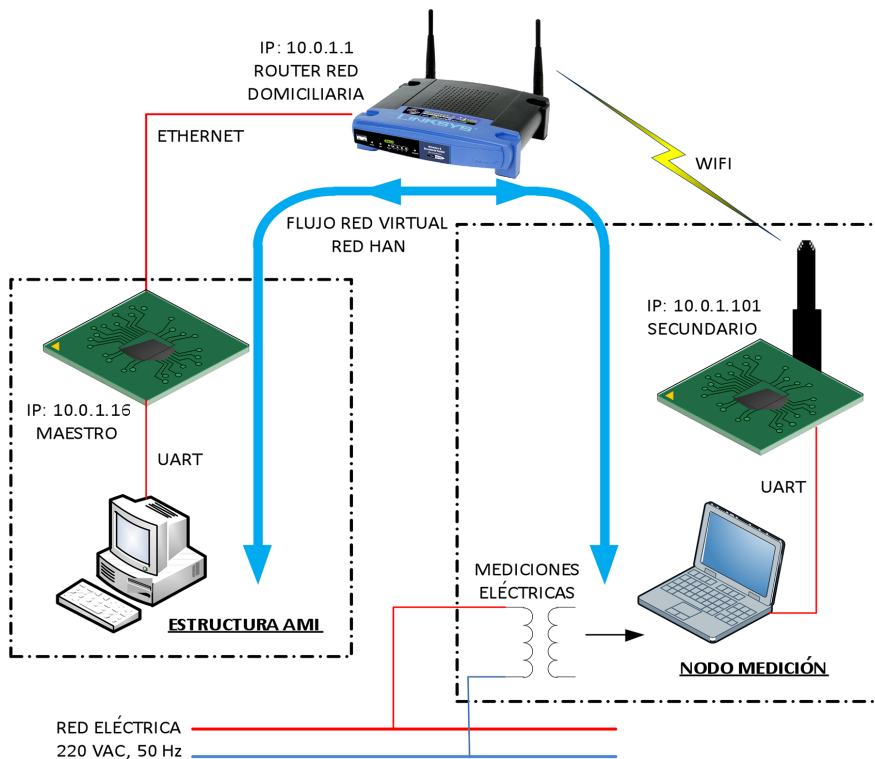


Figura 8. Diagrama de pruebas protocolo red HAN.

Como anteriormente se mencionó, corresponde a la trama de confirmación generada por el nodo secundario, antes del envío de la trama información.

- 000*0011*312.1*0220.2*0002.1*0.98*0462.4*0092.1*0462.4*50.0*11.5*

Trama del tipo *Data Frame* enviada hacia la estructura AMI, la que contiene los valores de las magnitudes eléctricas asociadas a las mediciones realizadas por el nodo secundario. Se puede apreciar que a partir del tercer asterisco, los campos de datos corresponden a voltaje *peak*, voltaje efectivo, corriente, *cos* de phi, potencia activa, reactiva, aparente, frecuencia y ángulo de desfase.

- 000*0010*000*

Como en otros casos, una vez que la trama *Data Frame* ha sido recibida por el nodo maestro, este envía la trama de función ACK al nodo secundario.

- 001*0101*000*

Esta trama corresponde a una trama FIN, la que determinará el cierre de transmisión respecto del nodo secundario 001.

- 000*0010*000*

Finalmente, el nodo secundario envía una trama ACK, confirmando el cierre de comunicación con el nodo maestro o estructura AMI.

Finalizado el análisis de la disección de las tramas TCP, es necesario mostrar también que cada una de las tramas está asociada a la red HAN, también están acompañadas de similares funciones en el protocolo TCP (Figura 11).

Claramente se aprecia, que cada nodo está acompañado de su respectivo puerto o *socket*, con el que se establecerá el canal de comunicación respectivo. A la vez, se puede apreciar que el comienzo del *Handshake* de tres vías con quien se establece el canal, punto, que es posterior al primer comando PSH o *push* enviado desde el nodo principal, envía la trama HELLO al nodo secundario, estableciéndose de este modo la comunicación.

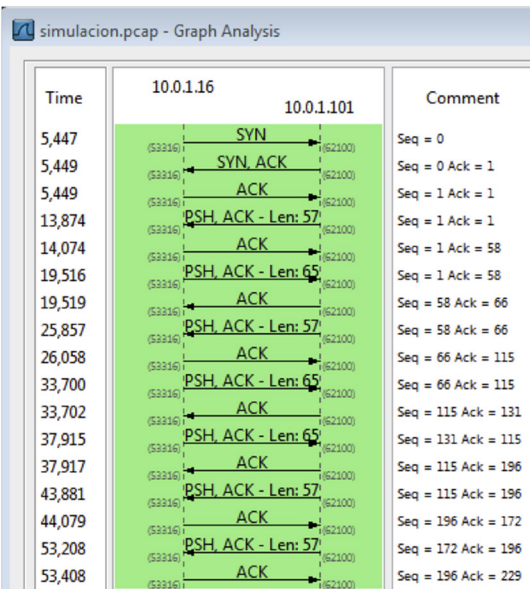


Figura 11. Diagrama de tiempos comunicación TCP.

Desde el punto de vista de carga de tráfico asociada al protocolo propuesto, y en base al tráfico colectado, en un período de una hora de colección de tráfico, los resultados obtenidos son los que se indican en la Tabla 3.

Tabla 3. Protocolos coexistentes en red domiciliaria (*Bytes*).

ARP	BROWSER	COTP	TCP_HAN
29352	7613	3426	1787850
ICMPv6	IGMPv2	IGMPv3	IPv6
11556	360	722	1294
SSLv2	SSDP	TCP	T.125
57532	354529	84347062	415
DB-LSP-DISC	DCERPC	DHCP	DHCPv6
64804	1248	6160	9238
LLC	LLMNR	MDNS	NBNS
444	247154	30316	205040
TLSv1	TLSv1.2	TPKT	UDP
438	11515611	16204016	240125
DNS	HTTP	ICMP	SSL
14837	71149	1913	935
SMB	SMB2	HTTP/XML	
233	1296063	28689	
WLCCP	XID	SRVSVC	
888	780	1240	

De la Tabla 3, se puede rescatar que los protocolos con mayor predominancia en la red son los protocolos TCP, TPKT, TLSv1.2, SMB2, TCP-HAN (protocolo de la red HAN). Realizando un análisis comparativo, se aprecia en los valores obtenidos en el protocolo TCP más todos los protocolos coexistentes, conforman un tráfico de 86,6 Mb. En cambio el protocolo de la red HAN, solo aporta con 1,78 Mb, lo que corresponde solo al 2,07% del tráfico total con paquetes de datos que no exceden los 150 bytes.

En la Figura 12 se muestra la carga de los protocolos usados.

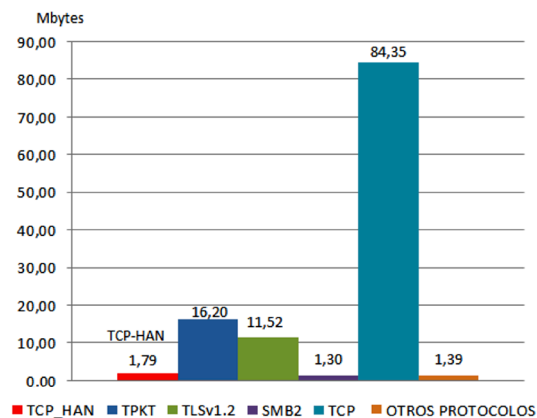


Figura 12. Gráfico carga de protocolos.

CONCLUSIONES

A partir del desarrollo de investigación mostrado, se aprecia que los objetivos iniciales planteados por el proyecto se cumplieron en la totalidad. La red virtual gestionada HAN de SmartGrids, es totalmente transparente a la red física correspondiente a una red clásica Ethernet, en donde los tráficos analizados, dan cuenta tanto del establecimiento de la comunicación, así como también de la funcionalidad sistémica y ordenada de los nodos, permitiendo de esa manera generar algoritmos simples para la verificación y obtención de los datos de interés que alimentarán el concepto de SmartGrids.

Por otro lado, y según [1], este modo de comunicación, permitirá establecer la interoperabilidad de los componentes de SmartGrids, generando con ello, la transparencia de los datos asociados, así como también permitirán la apertura para nuevas

funcionalidades de un protocolo de esta naturaleza. A su vez, este protocolo es solo un pequeño aporte a la implementación de este concepto en Chile, el que utiliza las redes existentes para el establecimiento de este, generando una facilidad en el procesamiento de datos (disección de tramas y procesamiento de datos), así como la universalidad de este protocolo quien podrá ser utilizado de manera abierta por cualquier fabricante de equipos asociados.

Por otro lado, la flexibilidad de este protocolo al utilizar tramas que son adaptables por medio de *headers* identificadores de función, permiten que el *payload* de la trama descrita pueda adquirir nuevas funcionalidades, como la *Domótica*, transmisión de estados de otros dispositivos que sean ajenos a SmartGrids.

Es importante hacer notar que el protocolo propuesto, presenta como ventaja significativa una gran flexibilidad de tratamiento e interpretación por parte de cualquier sistema informático, frente a otras aplicaciones. Sin embargo, una de las desventajas que presenta este protocolo propuesto, corresponden a la capacidad de no compresión que esta trama tiene, así como también la no tolerancia a la fragmentación de tramas, temas que serán investigados en el futuro próximo, así como el estudio propio de la estructura de este protocolo.

Finalmente este trabajo de investigación busca sentar las primeras bases de aplicación y masificación del concepto de SmartGrids en Chile.

AGRADECIMIENTOS

Universidad de Santiago de Chile, USACH. Agradecimientos Proyecto DICYT, Código 061513KC, Vicerrectoría de Investigación, Desarrollo e Innovación.

REFERENCIAS

- [1] H. Kaschel and E. Viera. "Proposal of bases for networks implementation HAN and Smartmeters in SmartGrids". *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*. Vol. 22 N° 3, pp. 308-315. ISSN: 0718-3291. 2014.
- [2] J. Córdova, B. Asare-Bediako, G.M.A. Vanalme and W.L. Kling. "Overview and Comparison of Leading Communication

- Standard Technologies for Smart Home Area Networks Enabling Energy Management Systems”. Proceedings of 46th International Universities’ Power Engineering Conference (UPEC), pp. 1-6. 2011.
- [3] A. Atayero, A. Alatishe and Y. Ivanov. “Power Line Communication Technologies: Modeling and Simulation of PRIME Physical Layer”. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science. Vol. II WCECS 2012. San Francisco, USA. October 24-26, 2012.
- [4] L. Berrío and C. Zuluaga. “Concepts, Standards and Communication Technology in Smart Grids”. IEEE 4th Colombian Workshop on Circuits and Systems (CWCAS), pp. 1-6. 2012.
- [5] IEEE-SASB Coordinating Committees. “IEEE 2030-2011. IEEE Guide for Smart Grid Interoperability of Energy Technology and Information Technology Operation with the Electric Power System (EPS), End-Use Applications, and Loads”. IEEE Standards Association. 2016.
- [6] M. Naglic and A. Souvent. “Concept of SmartHome and SmartGrids integration”, 4th International Youth Conference on Energy (IYCE), pp. 1-5. 2013.
- [7] H. Melvin. “The role of ICT in evolving SmartGrids”. Digital Technologies (DT). 2014 10th International Conference on Digital Technologies (DT), pp. 235-237. 2014.
- [8] S.R. Kuppannagari, R. Kannan and V.K. Prasanna. “An ILP Based Algorithm for Optimal Customer Selection for Demand Response in SmartGrids”. 2015 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), pp. 300-305. 2015.
- [9] Z. Chaloupka, N. Alsindi and J. Aweya. “Transparent clock characterization using IEEE 1588 PTP timestamping probe”. 2015 IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC), pp. 1537-1542. 2015.
- [10] B.M. Kelley, P. Top, S.G. Smith, C.S. Woodward and L. Min. “A federated simulation toolkit for electric power grid and communication network co-simulation”. 2015 Workshop on Modelling and Simulation of Cyber-Physical Energy Systems (MSCPES), pp. 1-6. 2015.
- [11] L.T. Tan and L.B. Le. “Compressed sensing based data processing and MAC protocol design for smartgrids”. 2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), pp. 2138-2143. April, 2016.
- [12] F.J. Rodriguez, S. Fernandez, I. Sanz, M. Moranchel and E. Bueno. “Distributed Approach for SmartGrids Reconfiguration based on the OSPF routing protocol”. IEEE Transactions on Industrial Informatics. Vol. 12 N° 2, pp. 864-871. 2016.
- [13] S. Demir and V. Kiray. “Analysis of Storage Energy usage in Residential Areas with Regard to SmartGrids and National Economy”. 2015 Twelve International Conference on Electronics Computer and Computation (ICECCO), pp. 1-4. 2015.
- [14] H. Melvin. “The role of ICT in evolving SmartGrids”. 2014 10th International Conference on Digital Technologies (DT), pp. 235-237. 2014.