



Proyecto WJSN

Wireless Jarduino-Sensor Network

Descripción de los Protocolos Empleados

SMSE

Contenido

1.	Objetivos del proyecto	2
2.	Descripción de la arquitectura física	2
3.	Descripción de la arquitectura de protocolos.....	2
3.1.	Capa física.....	2
3.2.	Protocolo de capa de enlace y red - PER.....	2
	Recursos del PER en cada nodo	3
	Etiquetas del PER.....	3
	Datagrama del PER.....	3
	Funcionamiento del PER	4
	Posibles mejoras del PER y puntos que se dejan abiertos.	4
	Referencias	5
3.3.	Protocolo de configuración y enrutamiento del PER: CEPER.....	5
	Tipos de mensajes CEPER.....	5
	Datagrama CEPER.....	6
	Funcionamiento del protocolo CEPER.....	6
	Posibles mejoras del CEPER y puntos que se dejan abiertos.	8
	Referencias	8
3.4.	Capa de aplicación: PGD.....	8
3.5.	Torres de protocolos	9
	Nodos sensores	9
	Nodos pasarela.....	9
4.	Referencias.....	9

1. Objetivos del proyecto

El Objetivo de este trabajo es diseñar los protocolos y componentes necesarios para desplegar una red de sensores inalámbricos que monitoricen la evolución de ciertas magnitudes físicas en el terreno en el que sean instalados.

Es nuestra intención que la red sea lo más sencilla posible y escalable. Para cumplir estos objetivos se impondrán una serie de limitaciones, eliminando funcionalidades que otros sistemas similares ofrecen, para ganar en simplicidad de la red y sus nodos.

2. Descripción de la arquitectura física

La red contendrá 2 tipos de nodos a nivel físico: sensor y pasarela. Los nodos de tipo sensor contarán con la capacidad de tomar ciertas medidas y transmitirlos mediante radio a otros nodos, sean sensores o pasarelas. La modulación que se empleará será ASK con una portadora de 433 MHz de dos símbolos.

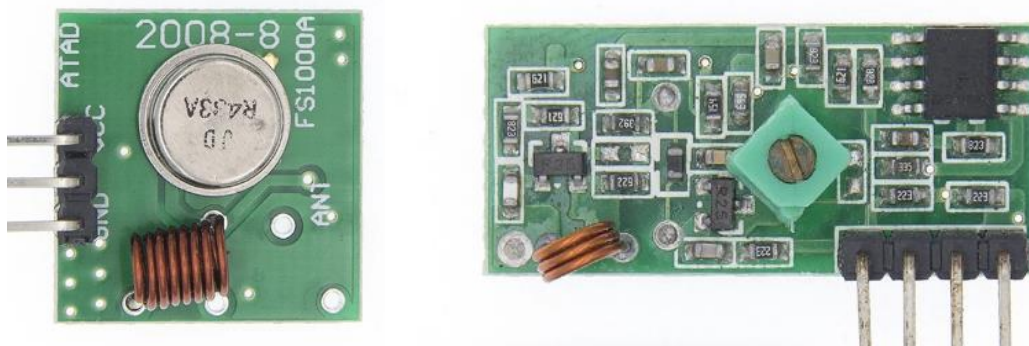


Figura 1: Izquierda, módulo transmisor empleado. Derecha, módulo emisor empleado.

Los nodos de tipo pasarela tendrán además una interfaz Ethernet, permitiendo reenviar la información hacia los clientes en el exterior.

3. Descripción de la arquitectura de protocolos

3.1. Capa física

La capa física estará formada por un enlace de radio a 433 MHz, empleando codificación ASK (codificación por salto de amplitud). Para ello se hará uso de la biblioteca VirtualWire [1], [2]. Esta biblioteca permite enviar y recibir datagramas sin formato a través de los módulos de radio que se emplearán, añadiendo únicamente un preámbulo que permita al receptor sincronizarse con el reloj del transmisor y un checksum para comprobar la integridad de los datos recibidos [3].

Las pasarelas contarán con una interfaz Ethernet para conectarse con el exterior de la red.

3.2. Protocolo de capa de enlace y red - PER

Definiremos un datagrama y un protocolo que sean ligeros para permitir la transmisión de información en la red. El protocolo que se presenta a continuación ocuparía las capas de red y enlace del esquema OSI. Este protocolo lo denominaremos Protocolo de Enlace y Red (PER de aquí en adelante). Sin embargo, presenta varias limitaciones que se expondrán y justificarán a continuación.

Cada nodo de la red (incluidas las pasarelas) tendrán un identificador único en ella. El establecimiento de este identificador es externo a los protocolos que se definen en este trabajo. En la red que se desplegará como ejemplo de implementación serán estáticos y serán asignados al programar cada nodo.

La comunicación dentro de la red siempre será desde una pasarela a todos los nodos de la red que tenga asociados o desde cualquiera de estos nodos hacia una pasarela. Esto implica la limitación de que será imposible enviar un mensaje a un nodo en particular de la red. Esta afirmación tiene algunas excepciones relacionadas con las necesidades relativas a las asociaciones entre nodos de la capa de enlace. Estas serán tratados más adelante.

Recursos del PER en cada nodo

Cada nodo que implemente el per, en general, tendrán una Tabla de Reenvío Ascendente y una Tabla de Reenvío Descendente. La primera almacenará toda la información para reenviar un mensaje hacia las pasarelas que se han llegado a conocer y el segundo para reenviar mensajes desde las pasarelas hacia los demás nodos de la red. La Tabla de Reenvío Ascendente almacenará las pasarelas descubiertas, el siguiente salto para alcanzarlas y el número de saltos hasta ella. Por otro lado, la Tabla de Reenvío Descendente almacenará todos los nodos que han descubierto alguna pasarela a través del nodo en cuestión y la pasarela descubierta. Los mecanismos de descubrimiento y asociación se explican más adelante en este documento.

Etiquetas del PER

Las etiquetas del PER serán números de 1 byte que deberán ser únicos en la red. Además, se estableces 2 etiquetas especiales: Difusión (0xFF) y Destino Desconocido (0xFE). Estas etiquetas especiales no podrán ser empleadas como identificación por ningún nodo y tendrán usos especiales en el PER, como se verá más adelante.

Datagrama del PER

El datagrama del PER se define de la siguiente manera:

PRE	SIMBI	LONG	SIGS	DEST	ORIG	PROT	DATOS	CHK
-----	-------	------	------	------	------	------	-------	-----

1. PRE: Es el preámbulo de entrenamiento. Consiste en 18 parejas de bits 01 para que el receptor sea capaz de sincronizarse. Este campo será añadido por la biblioteca VirtualWire.
2. SIMBI: Símbolo de 12 bits que indica el comienzo del mensaje. Será añadido por la biblioteca VirtualWire.
3. LONG: Campo de 1 byte que indica la longitud del mensaje en bytes. Esta cuenta incluye la longitud de todos los campos menos el preámbulo y el símbolo de comienzo del mensaje. Será añadido por VirtualWire.
4. SIGS: Campo de 1 byte que especifica el siguiente salto que debe dar el mensaje para alcanzar el destino final.
5. DEST: Campo de 1 byte con el destino final que debe alcanzar el mensaje.
6. ORIG: Campo de 1 byte con el origen del mensaje.
7. PROT: Campo de 1 byte con el protocolo al que se le debe entregar la carga del mensaje.
8. CHK: Campo de 2 bytes con los bits de paridad del mensaje. Este campo será añadido por la librería VirtualWire.

Funcionamiento del PER

El algoritmo al recibir un mensaje del PER será de la forma, siendo ID la etiqueta de identificación del nodo en cuestión, DIF la etiqueta de difusión y DD la etiqueta de destino desconocido.

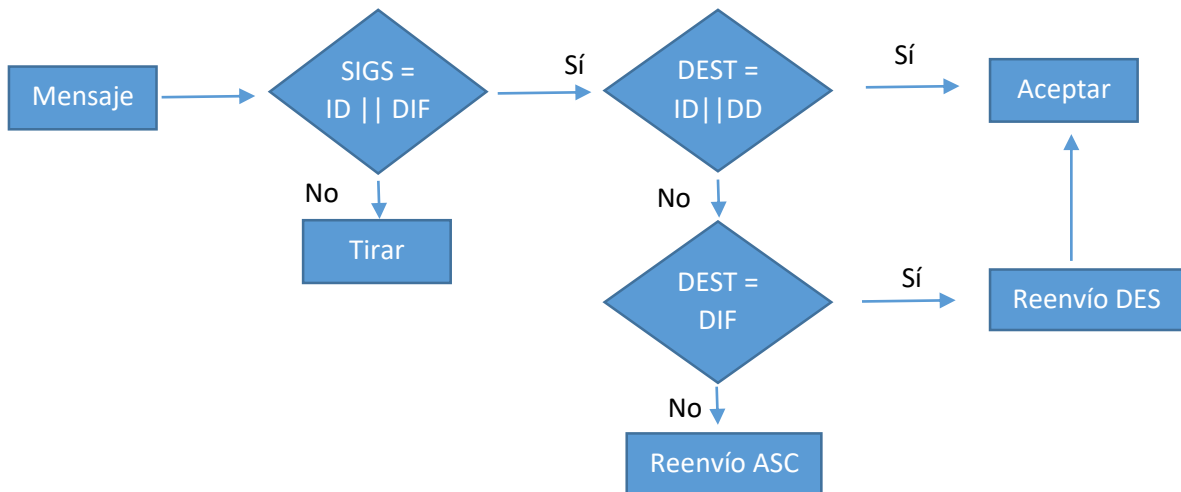


Figura 2: Diagrama de flujo del algoritmo que se ejecuta en cualquier nodo al recibir un mensaje PER.

Como se puede observar en la Figura 2, existirán dos tipos de reenvío: reenvío ascendente (ASC) y descendente (DES). Los reenvíos descendentes tendrán lugar cuando la dirección de destino sea la dirección de difusión. Solamente los elementos de tipo pasarela podrán enviar mensajes a la dirección de difusión. El reenvío descendente tendrá lugar cuando se reciba un mensaje cuya dirección de destino sea distinta a la de difusión. A continuación se detalla el modo de ejecutar cada tipo de reenvío:

- A. Reenvío descendente: Cuando se ejecute este reenvío se emitirá un mensaje igual al recibido por cada entrada de la Tabla de Reenvío Descendente cuyo campo de pasarela descubierta coincida con el origen del mensaje. Únicamente se cambiará la dirección de siguiente salto, que se sustituirá en cada mensaje emitido por la entrada correspondiente de la tabla. Si no se da ninguna coincidencia en la tabla con el origen, se desecha el mensaje.
- B. Reenvío ascendente: Se consultará la tabla de reenvío ascendente del nodo, buscando una coincidencia con la dirección de destino. Si se da una coincidencia, se reenvía el mensaje sustituyendo el siguiente salto por la entrada correspondiente de la tabla. Si no se da coincidencia se tira el mensaje.

Al aceptar el mensaje se desempaqueta y se entrega al protocolo o proceso identificado mediante el campo PROT del mensaje según la Tabla 1.

Tabla 1: Protocolos y su identificación.

Protocolo	CEPER	PGD
ID	1	2

Posibles mejoras del PER y puntos que se dejan abiertos.

En este apartado se mencionan algunos aspectos del PER que será necesario establecer en caso de escalar la red que no serán tratados en este trabajo.

- A. Acceso al canal: Se ha dado por supuesto que el acceso al canal será aleatorio, y no se ha previsto ningún mecanismo para reducir el impacto de las colisiones entre paquetes. Se ha supuesto que el impacto en el funcionamiento será reducido. Esto será cierto en la implementación que se hará de la red por el número reducido de nodos. Sin embargo, al escalar el número de elementos se hará necesario arbitrar algún mecanismo de escucha activa con esperas de tiempos aleatorios, algo similar al mecanismo empleado en el estándar wifi [4]. Esta especificación e implementación se ha considerado que excede el alcance de este trabajo.
- B. Tamaño de las direcciones: Se ha supuesto que con direccionar 254 nodos será suficiente, por lo que se ha optado por direcciones de 1 byte para simplificar la programación en las placas Arduino y los recursos consumidos en ellas. Sin embargo, puede ser conveniente ampliar el tamaño de las etiquetas a 2 o más bytes para aumentar el número de elementos admitidos en la red.

Referencias

Este protocolo no está basado directamente en ningún otro. Sin embargo, los términos, procedimientos e ideas que se han empleado o desarrollado se han podido ver inspirados por otros protocolos conocidos por el autor. Algunos de ellos pueden ser Ethernet [5], WiFi [4], [6] o IP [7], [8].

3.3. Protocolo de configuración y enrutamiento del PER: CEPER

El protocolo de Configuración y Enrutamiento del PER (CEPER en adelante) será el encargado de configurar los nodos y rellenar automáticamente sus tablas de reenvío ascendente y descendente. Será el encargado de anunciar y descubrir pasarelas y de distribuir en la red la configuración que se establezca desde cada una de ellas.

Tipos de mensajes CEPER

Se establecen los siguientes tipos de mensaje:

- A. Anunciar (tipo 1): Será enviado cada cierto tiempo por cada nodo para anunciar cada pasarela a la que tiene acceso, ofertando una conexión hacia ella. Su campo ID será un número aleatorio. Al enviarse sobre PER tendrá como destino la etiqueta de destino desconocido, como próximo salto la etiqueta de difusión y como origen la etiqueta de identificación propia.
- B. Configurar (tipo 2): Será enviado a un nodo ya asociado para actualizar la configuración. Su campo ID será un número aleatorio. Al enviarse sobre PER tendrá como destino y próximo salto la etiqueta del destino, y como origen la etiqueta de identificación propia.
- C. Descubrir (tipo 3): será enviado por cada nodo que aún no haya sido configurado mediante el protocolo CEPER. Su campo ID será 0. Al enviarse sobre PER tendrá como destino la etiqueta de destino desconocido, como próximo salto la etiqueta de difusión y como origen la etiqueta de identificación propia.
- D. Asociar (tipo 4): Será enviado para responder a un mensaje de tipo Anunciar, indicando que se ha tomado la oferta correspondiente. Su campo ID tendrá el mismo valor que el del mensaje Anunciar al que se responde. Al enviarse sobre PER tendrá como destino y siguiente salto la etiqueta del nodo que hizo el anuncio. Como origen tendrá la etiqueta del nodo que envía el mensaje.
- E. ACK (tipo 5): Será enviado como asentimiento a un mensaje Asociar o Configurar. Indica que se ha recibido y que la etiqueta del nodo que envió el mensaje Asociar ha sido añadida a la tabla de reenvío descendente del emisor del mensaje Anunciar que

desencadenó la sucesión de mensajes (respuesta a mensaje Asociar) o que se ha actualizado la configuración indicada (respuesta a mensaje Configurar). Su campo ID tendrá el mismo valor que el del mensaje Asociar o Configurar al que se responde. Al enviarse sobre PER tendrá como destino y siguiente salto la etiqueta del nodo que solicitó la asociación. Como origen tendrá la etiqueta del nodo que envía el mensaje.

Datagrama CEPER

Un datagrama CEPER tendrá los siguientes campos:

TIPO (1 byte)	NSALTO (1 byte)	PASARELA (1 bytes)	ID (1 byte)	LONG (1 byte)	CONF (LONG bytes)
------------------	--------------------	-----------------------	----------------	------------------	----------------------

Dónde:

- A. TIPO: contendrá el tipo al que corresponde el mensaje.
- B. NSALTO: contendrá el número de saltos que hay desde el nodo que lo envía hasta la pasarela a la que hace referencia el mensaje.
- C. PASARELA: etiqueta de la pasarela a la que hace referencia el mensaje.
- D. ID: número identificador del mensaje.
- E. LONG: longitud del campo conf. Puede ser cero si no se incluye ninguna configuración en el mensaje.
- F. CONF: Configuración asociada a la pasarela a la que se hace referencia. Tiene el formato:

FREC	CANAL_1	...	CANAL_N
------	---------	-----	---------

Pudiendo tener tantos identificadores de canal como se desee. Los identificadores de canal son descritos más adelante junto con el Protocolo de Genérico de Datos (PGD). El campo FREC contiene, expresado en minutos, el período que establece la frecuencia con la que el nodo deberá tomar y enviar las medidas oportunas.

Funcionamiento del protocolo CEPER

- A. Anuncios: Cada nodo enviará cada cierto tiempo (t_1) un mensaje de tipo Anuncio por cada etiqueta de pasarela que tenga almacenada en su tabla de reenvío ascendente. En caso de ser él mismo una pasarela, también se anunciará a sí mismo. A este mensaje se le podrá añadir la configuración asociada a la pasarela en cuestión.
- B. Descubrimientos: Un nodo que tenga su memoria de reenvío ascendente vacía y no sea una pasarela enviará cada cierto tiempo (t_2) un mensaje de tipo Descubrimiento.
- C. Respuesta a un mensaje Descubrimiento: Un nodo que tenga al menos una entrada en su tabla de reenvío ascendente responderá a cada mensaje Descubrimiento que reciba con un mensaje Anunciar, reseteando el contador del tiempo t_1 . El mensaje Anunciar se enviará como se describió en el apartado de “Tipos de mensajes CEPER”.
- D. Respuesta a un mensaje Anunciar. La llegada de un mensaje anunciar a un nodo que no dispone de la etiqueta de la pasarela correspondiente almacenada en su tabla de reenvío ascendente desencadenará el siguiente proceso:

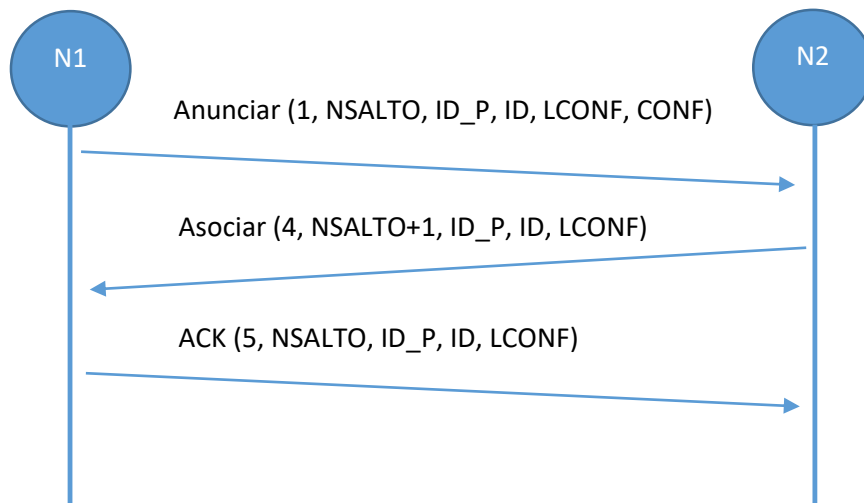


Figura 3: Diagrama de paso de mensajes al responder a un mensaje de tipo Anunciar.

Al realizar este proceso, el nodo N1 almacenará la etiqueta de N2 por un tiempo determinado (t_3) en su tabla de reenvío descendente y el nodo N2 almacenará la etiqueta ID_P en su tabla de enlace ascendente con la etiqueta de N1 como siguiente salto por el mismo tiempo. Transcurrido ese tiempo, se olvidará la asociación.

Antes de responder a un anuncio, se esperará un tiempo determinado t_5 . En caso de recibir varios anuncios de una misma pasarela, se responderá únicamente al que tenga un menor valor en el campo NSALTO. En caso de que más de uno de los mensajes recibidos tengan el mismo valor en el campo NSALTO se responderá al primero que llegue.

- E. Respuesta a un mensaje Configuración. Un mensaje Configuración se generará en una pasarela cuando se desee actualizar la configuración de la red o en un nodo cualquiera a partir de uno anterior.

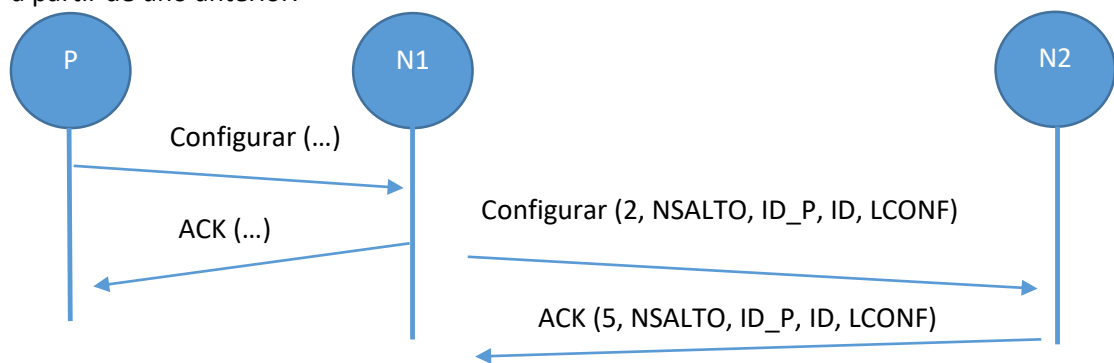


Figura 4: Diagrama de paso de mensajes al enviar un mensaje tipo Configurar.

- F. Actualización de asociación. Transcurrida una fracción del tiempo t_3 (t_5) El nodo N2 enviará al nodo N1 un mensaje Asociar igual al que utilizó para realizar la asociación (excepto por el ID de mensaje que puede variar). El nodo responderá con un ACK y se reiniciarán los contadores del tiempo t_3 en ambos nodos. En caso de que no haya respuesta, se olvidará la asociación con el nodo N1, comenzando a enviar mensajes Descubrir hasta que se reciba un nuevo mensaje Anunciar.

Posibles mejoras del CEPER y puntos que se dejan abiertos.

- A. Se ha supuesto que no se necesita conocer el estado de la red (nodos que la forman). Para conocer el estado de la red se podría implementar un protocolo que operase sobre el PER que enviase de forma ascendente un mensaje al que cada nodo le añade su propia etiqueta al reenviarlo.
- B. Envío de mensajes a nodos determinados: tal y como se han desarrollado los protocolos que forman el ecosistema WJSN no hay forma de enviar un mensaje a un nodo en particular.
Esto se podría lograr haciendo una ampliación del protocolo PER de forma que cada nodo almacenase en una tabla los nodos dependientes de sus nodos dependientes, de forma que la asociación fuese recursiva. Sin embargo, esto se ha descartado por no ser escalable.
Otra forma de lograrlo aprovechando los protocolos ya desarrollados sería desarrollando la extensión propuesta en A, de forma que las pasarelas puedan conocer la red completa. Además, habría que implementar un servicio que funcione sobre el PER que los datos desempaquetados recibidos los interprete como un mensaje PER ya formado, enviándolo como corresponde sin añadir nada. De esta forma, se podrían añadir tantas cabeceras PER como saltos sean necesarios a la hora de formar el mensaje en la pasarela. Este empaquetamiento deberá ser indicado en cada caso mediante el valor apropiado en el campo PROT del cada mensaje PER. Todo esto se deja como propuesta para posibles mejoras o ampliaciones.

Referencias

Este protocolo, al igual que el PER, no está basado en ningún otro. Sin embargo, los términos, procedimientos e ideas que se han empleado o desarrollado se han podido ver inspirados por otros protocolos conocidos por el autor. Algunos de ellos pueden ser MPLS [9], [10] o Ethernet [5].

3.4. Capa de aplicación: PGD

El Protocolo General de Datos (PGD en adelante) no es más que la especificación de una sintaxis para el envío de los datos hacia las pasarelas que implica una forma de interpretar los datos.

Se establece el datagrama como:

N (1 byte)	Etiqueta 1 (1 byte)	Datos 1 (1 byte)	...	Etiqueta 2 (1 byte)	Datos 2 (1 byte)
---------------	------------------------	---------------------	-----	------------------------	---------------------

Dónde:

- A. N: Número de parejas etiqueta-datos existen en el mensaje
- B. Etiqueta 1: identificador del tópico de los datos. Un tópico corresponde a un tipo de datos determinado. En la práctica, un tópico identifica que unos datos son de una determinada naturaleza (p.e: medida de la luminosidad), medidos en una determinada magnitud (p.e: lux [11]) y expresados en un determinado formato numérico (entero, punto fijo, coma flotante).

En nuestro caso, los tópicos que definiremos serán:

Tópico 1: La etiqueta será 1. Identificará que los datos son de temperatura, medida en °C y expresados en punto fijo.

Tópico 2: La etiqueta será 2. Identificará que los datos son de humedad, medida en % y expresados en punto fijo.

3.5. Torres de protocolos

Nodos sensores

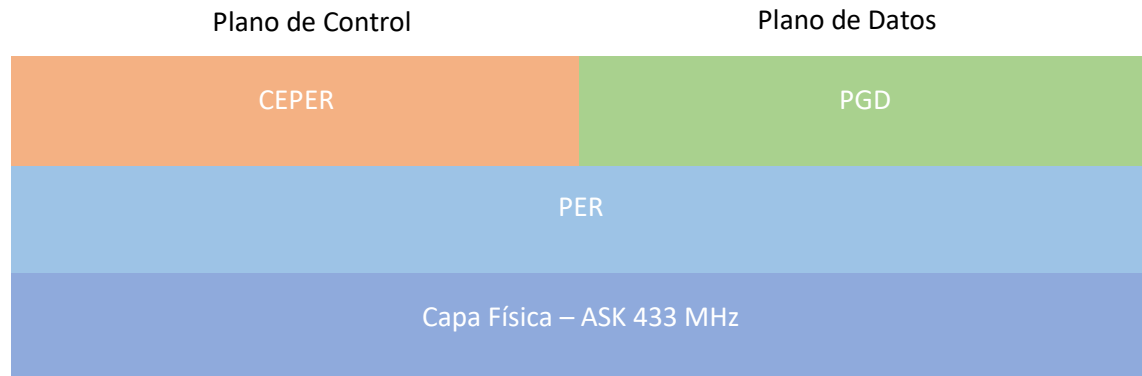


Figura 5: Torre de protocolos de los nodos de tipo sensor.

Nodos pasarela

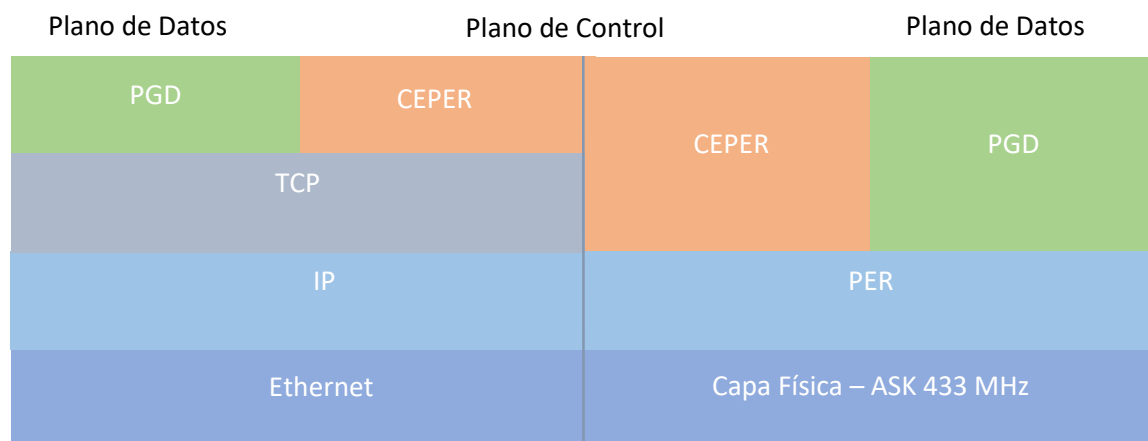


Figura 6: Torre de protocolos de un nodo pasarela.

En el caso de la comunicación desde una pasarela hacia un cliente, se incluirá al principio del mensaje PGD un octeto con el ID del nodo que generó el mensaje, de forma que el cliente pueda identificar los nodos desde los que se envían las mediciones. Al asociarse con una pasarela, se entenderá que el cliente se suscribe a todos los tópicos disponibles en esa pasarela.

4. Referencias

- [1] "VirtualWire: VirtualWire library for Arduino and other boards." [Online]. Available: <http://www.airspayce.com/mikem/arduino/VirtualWire/>. [Accessed: 24-Dec-2020].
- [2] "VirtualWire Copyright (C) 2008-2013 Mike McCauley," 2013.
- [3] "Insight Into How 433MHz RF Tx-Rx Modules Work & Interface with Arduino." [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/433mhz-rf-wireless-arduino-tutorial/>. [Accessed: 24-Dec-2020].
- [4] "RFC 7494 - IEEE 802.11 Medium Access Control (MAC) Profile for Control and Provisioning of Wireless Access Points (CAPWAP)." [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc7494>. [Accessed: 24-Dec-2020].

- [5] "IEEE 802.3-2018 - IEEE Standard for Ethernet." [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/802_3-2018.html. [Accessed: 24-Dec-2020].
- [6] "IEEE 802.11-2020 - IEEE Approved Draft Standard for Information Technology -- Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks -- Specific Requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications." [Online]. Available: https://standards.ieee.org/standard/802_11-2020.html. [Accessed: 24-Dec-2020].
- [7] J. Postel, "Internet Protocol."
- [8] "RFC 791 - Internet Protocol." [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc791>. [Accessed: 24-Dec-2020].
- [9] "RFC 3031 - Multiprotocol Label Switching Architecture." [Online]. Available: <https://tools.ietf.org/html/rfc3031>. [Accessed: 24-Dec-2020].
- [10] A. Viswanathan, R. Callon, and E. C. Rosen, "Multiprotocol Label Switching Architecture."
- [11] "IEC 60050 - International Electrotechnical Vocabulary - Details for IEV number 845-01-52: " ". " [Online]. Available: <http://www.electropedia.org/iev/iev.nsf/display?openform&ievref=845-01-52>. [Accessed: 24-Dec-2020].