



A. PROPUESTA PROYECTO DE INVESTIGACIÓN INTERNO SIN FINANCIAMIENTO O AUTOGESTIONADO

1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Básica	x	Aplicada	
--------	---	----------	--

2. DEPARTAMENTO O INSTITUTO

1. DETRI

3. LINEA(S) DE INVESTIGACIÓN:

1. DETRI -A1-L2 Comunicaciones inalámbricas

4. TÍTULO DEL PROYECTO (mínimo 10 palabras):

Implementación de un algoritmo para la sincronización centralizada de los nodos que forman parte de una red inalámbrica de sensores lineales a gran escala.

5. RESUMEN (máximo 200 palabras)

En este proyecto se propone la implementación de un algoritmo, para sincronizar todos los nodos de una red inalámbrica de sensores a gran escala con topología lineal utilizando las características del protocolo IEEE 802.15.4. Se modela matemáticamente los tiempos requeridos para sincronizar los nodos con el propósito de determinar los intervalos de tiempo en los cuales los nodos pueden estar en un estado activo y en un estado inactivo utilizando una sincronización centralizada. La propuesta determina los tiempos óptimos de los intervalos para lo cual considera el tipo de tráfico de la red, minimiza el consumo de energía, habilitando a los nodos únicamente cuando tienen que transmitir o retransmitir datos y garantiza la transmisión de datos de todos los nodos que forman parte de la topología lineal. El funcionamiento del algoritmo propuesto se lo valida mediante la codificación del algoritmo en nodos sensores que forman parte un prototipo de red implementado para tal efecto. Los valores medidos en el prototipo se comparan con los obtenidos en el modelo matemático propuesto. El algoritmo propuesto facilita la implementación de nuevas aplicaciones relacionadas con el sensado y monitoreo en infraestructuras lineales a gran escala como oleoductos, carreteras, fronteras, etc.

6. PALABRAS CLAVE (4-6)

LWSN, sincronización, 802.15.4, centralizada

7. DISCIPLINA CIENTÍFICA (Marque X, solamente una opción)

Ciencias Naturales y Exactas;	
Ingeniería y Tecnologías;	x
Ciencias Médicas;	
Ciencias Agrícolas;	
Ciencias Sociales;	
Humanidades	

8. OBJETIVO SOCIECONOMICO (Marque X, solamente una opción)

Exploración y explotación del medio terrestre;	
Ambiente;	
Exploración y Explotación del espacio;	
Transporte, telecomunicaciones y otras infraestructuras;	x



Energía;	
Producción y tecnología industrial;	
Salud;	
Agricultura;	
Educación;	
Cultura, ocio, religión y medios de comunicación;	
Sistemas políticos y sociales, estructuras y procesos;	
Defensa;	
Avance general del conocimiento: I+D financiada con los Fondos Generales de Universidades (FGU);	
Avance general del conocimiento: I+D financiados con otras fuentes.	

9. OBJETIVOS

9.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un algoritmo para la sincronización centralizada de los nodos que forman parte de una red inalámbrica de sensores lineales a gran escala.

9.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar el algoritmo para la sincronización centralizada de nodos sensores en redes multisalto con topología lineal.
- Modelar matemáticamente los tiempos de funcionamiento del nodo para determinar los periodos óptimos de actividad e inactividad en base al protocolo IEEE 802.15.4.
- Implementar un prototipo de la red sensor inalámbrica con topología lineal para validar la propuesta.

10. HIPÓTESIS *(opcional)*

La utilización del protocolo IEEE 802.15.4 permite la sincronización global de los nodos en una red lineal a gran escala

11. DETALLE DE LOS RESULTADOS ESPERADOS *(con relación a los objetivos)*

- Algoritmo debidamente documentado, para sincronizar los intervalos en los cuales el nodo esta activo e inactivo para ser ejecutado en nodos RCB 256RFR2.
- Un modelo matemático basado en el protocolo IEEE 802.15.4 que permite calcular los intervalos en los cuales el nodo debe estar en un estado activo e inactivo.
- Prototipo de red operativo con topología lineal que utiliza nodos RCB 256RFR2 en donde se comprueba la contribución de la investigación y para ser utilizado en futuras investigaciones y en las carreras de pregrado y postgrado del DETRI en el caso de que se considere necesario.

12. PRODUCTOS ESPERADOS

Tipo de Producto:	Marcar con una "X"
a. Disertación a la Comunidad Politécnica (obligatorio);	X
b. Presentación de un artículo en formato de la Revista Politécnica (obligatorio)	X
c. Proyecto de Titulación;	X
d. Aplicación tecnológica construida o implementada;	X
e. Patente presentada;	
f. Perfil de proyecto de mayor impacto científico, técnico, pedagógico o de innovación.	



g. Publicaciones científicas indexada en SCIMAGO-SCOPUS/WoS/SCIELO/Latindex Catálogo o un artículo en congreso indexado en SCOPUS.	X
--	---

13. IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN (*científico, social, económico u otros*)

El Algoritmo propuesto influye en el tiempo en el cual los nodos están activos, optimizando el consumo de energía de los nodos sensores y tiempo de vida de la red inalámbrica con topología lineal, facilita la implementación de sistemas de monitoreo de bajo costo para el control de robos de gasolina en tuberías que transportan gasolina, y monitoreo de oleoductos.

El algoritmo propuesto aporta de manera notable en el área de las redes sensores inalámbricas con topología lineal, ya que el problema de la sincronización a gran escala en redes lineales no ha sido solucionado.

Brinda una oportunidad de desarrollo de nuevas aplicaciones para los sectores estratégicos de la economía y la sociedad y genera temas de trabajos de titulación para pregrado y postgrado, viables y con una aplicación en el mundo real.

14. ESTADO DEL ARTE, E INVESTIGACIONES PREVIAS DEL EQUIPO (*máximo tres carillas*)

El principal objetivo de investigación en el área de las redes inalámbricas de sensores, las cuales utilizan el estándar IEEE 802.15.4, es crear redes que tengan una comunicación de extremo a extremo con un mínimo retardo y mínimo consumo de energía debido a las limitaciones de energía y cálculo que tienen los nodos sensores. En redes inalámbricas de sensores con topología lineal (Linear Wireless sensor networks - LWSN), es más complicado cumplir con este objetivo, ya que, en una topología lineal el número de vecinos de un nodo es limitado y existe una sola ruta física de transmisión lo que hace que la pérdida de datos sea más probable que en redes inalámbricas de sensores que operan con otras topologías. Normalmente, las LWSN sufren de tráfico de datos desequilibrado entre nodos, ya que los nodos más cercanos al nodo frontera suelen estar más congestionados que los nodos que están al interior de la infraestructura lineal. Esto se debe a que los mensajes de los nodos internos siempre tienen que pasar por nodos intermedios para llegar al nodo frontera. Se han realizado propuestas de sincronización para LWSN (Al Imran et al., 2020), enfocados a la precisión de la sincronización, pero utilizan información del nivel de red, lo cual utiliza recursos por procesamiento afectando a los retardos.

Los nodos sensores tienen tres modos de operación, el modo transmisión y modo recepción que forman parte del estado activo del nodo y el modo dormido que forma parte del estado inactivo del nodo. Cuando un nodo tiene datos que transmitir debido a que el nodo sensa un evento, genera una trama que transporta datos y los envía al nodo frontera, los nodos intermedios tienen que estar activos para poder retransmitir la trama y esta pueda llegar al nodo frontera. Esto es un problema debido a que los nodos intermedios no pueden estar activos todo el tiempo esperando que un nodo transmita, porque al operar con baterías su tiempo de vida disminuye.

Por lo que es necesario sincronizar a todos los nodos de la red, de tal manera que estén en estado activo, únicamente cuando tengan tramas que transmitir o retransmitir y de esa manera optimizar el consumo de energía. El no poder sincronizar los cientos de nodos que forman parte de la infraestructura lineal, para controlar el estado del nodo y por lo tanto su modo de operación, impide fijar los tiempos en los cuales los nodos pueden transmitir, dificulta la optimización del consumo de energía y por lo tanto impiden que esta tecnología se use en la creación de nuevas aplicaciones para redes gran escala con topología lineal.

Esta necesidad de que los nodos estén en estado activo únicamente cuando tengan que transmitir o retransmitir tramas genera un problema el momento que se desea sincronizar a los cientos de nodos que forman parte de la infraestructura lineal.

En este proyecto de investigación para resolver el problema anteriormente indicado, propone un algoritmo que se ejecute en cada uno de los nodos sensores y permita la sincronización centralizada de todos los cientos de nodos que forman parte de la infraestructura lineal usando únicamente información del nivel de enlace proporcionada por el protocolo IEEE 802.15.4.

La mayoría de estudios relacionados con la sincronización de nodos en redes inalámbricas de sensores que utilizan el estándar IEEE 802.15.4, proponen soluciones al problema de sincronización para topologías tipo malla, estrella y árbol, estas soluciones, si bien pueden ser aplicadas a topologías tipo árbol que son redes



multisalto, sin embargo (Yildirim et al., 2018) no son óptimas para topologías lineales con cientos de saltos y en algunos casos inaplicables por los excesivos retardos que producen.

Es por esta razón que estas propuestas no pueden ser aplicables a infraestructuras lineales a gran escala evitando el desarrollo de soluciones económicas que resultan de utilizar el estándar 802.15.4 en comparación con sistemas cableados.

El Grupo de Investigación de IoT del DETRI (GI-IoT) está trabajando en la definición de protocolos para redes inalámbricas de sensores con topología lineal, considerando que no se ha podido definir una arquitectura estándar para trabajar con las redes de sensores inalámbricas (Kumar S. et al., 2014) y que los protocolos han sido creados de acuerdo al problema a resolver (Suhonen, 2012). Dentro de este objetivo, se han identificado retos a ser resueltos en la LWSN, uno de ellos es la sincronización de miles de nodos que forman parte de la infraestructura lineal. Por lo cual el Grupo el GI-IoT necesita investigar este tema.

Solucionar el problema planteado permitirá entre otras cosas, la propuesta de nuevos protocolos para redes de sensores inalámbricas con topología lineal, la propuesta de trabajos de titulación y proyectos de investigación en esta área, implementación de nuevas aplicaciones en este campo lo cual es de vital importancia para que el GI-IoT cumpla con sus objetivos

De lo antes planteado surge como problema científico de la investigación la necesidad de sincronizar cientos de nodos en infraestructuras lineales a gran escala que utilicen el protocolo IEEE 802.15.4. De este problema científico se desprende que el área de la investigación son los protocolos MAC para LWSN, siendo el campo de acción específico de la investigación la creación de mecanismos de sincronización centralizado para nodos que forman parte de una LWSN. Mecanismos que son representados por un algoritmo a ser ejecutado en cada nodo. El análisis del algoritmo propuesto requiere la modelación matemática de los intervalos tiempo de los estados activos e inactivos del nodo así como su validación de funcionamiento en un prototipo de red.

Proyectos de investigación previos relacionados con el tema propuesto.

Se ha trabajado en el área de las redes inalámbricas de sensores con topología lineal con los siguientes proyectos:

“Análisis del impacto de utilización de ACK pasivos en los retardos en redes de sensores inalámbricas lineales a gran escala que trabajan en modo no-beacon con IEEE 802.15.4”, PII 17-07 EPN, enviado el informe final, Director de proyecto

“Utilización de ACK pasivos para proporcionar conectividad confiable en redes de sensores inalámbricas lineales a gran escala” PIS 17-03 EPN, enviado el informe final, Director de proyecto

“Optimización de la confiabilidad de sistemas de monitoreo inalámbrico de oleoductos que utilizan Redes Sensores inalámbricos” L13302 PUCE , Director de proyecto

“Optimización de la confiabilidad de sistemas de monitoreo inalámbrico en topologías lineales que utilizan Redes de Sensores Inalámbricos”, PIS 15-02, EPN. Director de proyecto

“Optimización de los recursos de una red de comunicaciones 6LowPan en ambiente de catástrofe ambiental”, PIS 14-26, EPN,

Las publicaciones previas relacionadas con Redes Sensores Inalámbricas lineales relacionadas con el proyecto son las siguientes:

Egas, Carlos;, Gil-Castiñeira, F., & Espinosa, C. (2020). Optimization of delays and power consumption in large-scale linear networks using iACK. *IEEE ANDESCON*.

Egas, Carlos, & Gil-Castiñeira, F. (2020). Revisión de requisitos, protocolos y desafíos en LWSN. *Maskay*, 11(1), 13–21. <https://doi.org/10.24133/maskay.v11i1.1728>

Egas, A. C., Gil-Castineira, F., Costa-Montenegro, E., & Silva, J. S. (2016). Automatic allocation of identifiers in linear wireless sensor networks using link-level processes. 2016 8th IEEE Latin-American Conference on Communications, *LATINCOM 2016*. <https://doi.org/10.1109/LATINCOM.2016.7811574>

Raposo, D., Rodrigues, A., Silva, J. S., Boavida, F., Oliveira, J., Herrera, C., & Egas, C. (2016). An autonomous diagnostic tool for the WirelessHART industrial standard. *WoWMoM 2016 - 17th International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks*.



<https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2016.7523536>

Egas Carlos. (2020). Redes inalámbricas de sensores. una gran oportunidad para generar entornos de investigación, docencia y desarrollo. TICEC 2020 aceptado para su publicación

Egas Carlos, Gil-Castineira Felipe. (2020). Analysis of the delay and energy in the transmission of frame sequence in LWSN using iACK. LATINCOM 2020 en proceso de revisión.

Egas Carlos Gil-Castineira Felipe. (2020) Reliable link level routing protocol in linear wireless sensor networks using implicit ACK. Sensor Journal, en proceso de revisión

En relación con tesis de grado, se ha dirigido 12 Trabajos de titulación en las carreras de Electrónica y Telecomunicaciones y Redes de Información del DETRI relacionadas con LWSN y WSN.

La investigación está dirigida para personas dedicadas al diseño, desarrollo e implementación de aplicaciones redes sensores inalámbricas a gran escala con topología lineal, para ser aplicadas en el desarrollo de tuberías inteligentes, sensado de oleoductos, monitoreo de fronteras, carreteras, túneles

Este trabajo ayudará a los diseñadores a superar posibles obstáculos para optimizar implementaciones como por ejemplo aumentar la vida útil de la red y facilitar la creación de aplicaciones que utilicen las WSN para topologías lineales.

15. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROYECTO, INCLUIDO METODOLOGÍA *(máximo tres carillas)*

Para la realización de este proyecto, se plantea un desarrollo basado en etapas, al ser un proceso de investigación, es posible que durante la ejecución de cada etapa, se necesite realizar algunos cambios, debido a la incertidumbre natural que existe en los procesos de investigación.

Las etapas propuestas son las siguientes:

1. Revisión de la situación actual y caracterización del problema:

Empezaremos con la adquisición de información sobre el tema, para realizar un análisis de la situación actual, específicamente se realizará la revisión de la literatura relacionada con la sincronización de nodos sensores que forman parte de diferentes zonas de cobertura, específicamente la sincronización de nodos en redes LWSN, entender los tipos de sincronización y ventajas y desventajas. Esto nos permitirá caracterizar el problema para definirlo, enmarcarlo teóricamente y sugerir una propuesta de solución considerando que los nodos para su conexión a nivel de enlace utilizan el estándar 802.15.4, ampliamente utilizado en las redes inalámbricas de sensores. Por lo cual el análisis y entendimiento al detalle de este estándar se considera importante para alcanzar los objetivos propuestos debido a que se pretende utilizar las propiedades de este protocolo o realizar modificaciones al mismo, para utilizarlo en la sincronización de los cientos de nodos de la LWSN sin utilizar información de capas superiores.

La sincronización de los nodos de una LWSN, está influenciada por la poca capacidad de procesamiento de los nodos y las limitaciones de energía por el uso de baterías, características inherentes de las redes sensores inalámbricas. Estas características limitan la utilización de soluciones convencionales empleadas en para la sincronización de nodos como es la utilización de GPS tecnología que requiere de nodos con capacidades de procesamiento y con alta disponibilidad de energía. Las limitaciones mencionadas de las redes sensores inalámbricas, implican la modificación y optimización de los procesos que desarrollan los nodos sensores, modificación de protocolos de comunicaciones y adaptación de las redes inalámbricas de sensores a las aplicaciones.

La validación de la propuesta realizada será realizada en un prototipo de red que utilizará el nodo RCB256RFR2 y del microcontrolador ATMEGA256RFR2 el cual permite trabajar directamente con el protocolo IEEE 802.15.4. Es por esta razón que se realizará una revisión de las principales características del nodo.

2. Definición del marco de trabajo.



La red con topología lineal se caracteriza porque existe un solo camino para que la información llegue a su destino, existen pocos nodos dentro de la cobertura de un nodo, y las tramas para llegar al nodo de borde de la topología lineal tienen que ser retransmitidas por cientos de nodos, como consecuencia de esto, la sincronización de los nodos tanto de manera centralizada o distribuida se ve afectada notablemente. Existe el modo de operación ranurado en IEEE 802.15.4, este método de acceso utiliza una trama denominada beacon para sincronizar todos los nodos que están dentro de su zona de cobertura. Este modo de sincronización no es aplicable a topologías lineales a gran escala que utilizan 802.15.4, debido a que se tiene que sincronizar de cientos de nodos que forman parte de cientos de zonas de cobertura. Este es el problema a resolver.

Para sincronizar los nodos de la topología lineal se utilizara el método de sincronización centralizado, todos los nodos de la red con topología lineal trabajarán con el protocolo IEEE 802.15.4 operando en modo no beacon y, a partir de este modo de operación se utilizara y/o modificará los procesos del protocolo 802.15.4 que trabaja nivel de enlace para el nodo frontera que trabajara como nodo coordinador para la sincronización, sincronice todos los nodos.

3. Diseño implementación y validación de la propuesta.

La propuesta considera que existe un problema técnico, cuando se desea sincronizar todos los nodos de una red de topología lineal con una longitud de cientos de kilómetros y que utiliza el protocolo de enlace de área personal IEEE 802.15.4. Con estas condiciones es necesario crear una solución para sincronizar los cientos de nodos que conforman la red, debido a que el estándar 802.15.4 tiene un área de cobertura en ambientes despejados de alrededor de 60 metros y no permite la sincronización de grupos de nodos. Un parámetro importante a considerar es la distancia máxima entre los nodos que forman parte de la red con topología lineal multisalto, para realizar el análisis se considera que la ubicación de los nodos sensores es cada 30 metros, de esta manera la señal radioeléctrica que emite de cada nodo sensor es recibida por dos nodos a su derecha y dos nodos a su izquierda, es por esta razón que los cientos de nodos no están la misma zona de cobertura del nodo sensor coordinador de la sincronización. Los nodos operarán en el modo no ranurado utilizando CSMA/CA para el control de acceso al canal, considerando que dentro de la zona de cobertura de un nodo sensor estarán máximo cuatro nodos.

Los retardos en la transmisión, los retardos por procesamiento, la calidad del reloj de los nodos, están asociados a la dificultad de sincronizar todos los nodos, lo cual crea un problema a resolver y que deben ser considerados en la solución propuesta.

La propuesta consiste en utilizar el protocolo IEEE 802.15.4 en los nodos que forman parte de la infraestructura lineal para crear una técnica de contención para los nodos para el acceso al medio de transmisión. Para lograr este objetivo, vamos a dividir el tiempo de operación de los nodos en periodos de duración. Estos periodos se denominan periodo activo T_a y periodo inactivo T_i . La diferencia entre estos dos periodos radica en el estado del radio ya que en el período T_a se incluye el modo de transmisión, de recepción y de procesamiento del nodo sensor y en el periodo T_i el nodo permanece en un estado inactivo con el nodo operando en el modo dormido. Mientras el nodo opera en modo dormido, su radio se queda apagada y establece un temporizador para despertarse más tarde. Cuando despierta, es decir cuando el nodo entra dentro de un período T_a , comienza a escuchar el medio para comprobar si otro nodo desea comunicarse con él.

Si bien este concepto ya es utilizado para optimizar el consumo de energía en redes inalámbricas de sensores como por ejemplo con el protocolo IEEE 802.15.4 trabajando en el modo ranurado (Gallegos & Noguchi, 2019) o el protocolo LC-MAC (Fang et al., 2011), su aplicación es en ambientes en donde existen cientos o miles de nodos en una zona de cobertura y no son aplicables en ambientes en donde existen pocos nodos en la zona de cobertura y con cientos de saltos. El objetivo de la investigación, es aplicar la sincronización centralizada en cientos de nodos que no forman parte de una misma zona de cobertura y que forman una topología lineal multisalto considerando que dentro de cada zona de cobertura existen pocos nodos (hasta una decena de nodos). Esta característica plantea el problema de como sincronizar cientos de nodos en una topología lineal multisalto, problema que se desea resolver en esta investigación. Es importante sincronizar todos los nodos de la topología lineal, para que todos los intervalos T_a , puedan recibir y transmitir datos. La duración del periodo T_a fija y única para todos los nodos de la LWSN.



El nodo frontera, primero debe sincronizar los relojes de todos los nodos sensores, mediante un mensaje de sincronización, con el cual sincroniza la hora en cada nodo y le indica la duración de los periodos T_a y T_i . Para realizar una sincronización de todos los nodos de la red es necesario considerar como afectan el retardo por propagación, el retardo por procesamiento en el nodo y la precisión del reloj del nodo en la propuesta, variables que serán analizadas durante el proceso de investigación. Conforme llega el mensaje de sincronización a cada nodo, este transmitirá sus datos al nodo coordinador o retransmitirá los datos de otro nodo al nodo coordinador. El tiempo de duración de la ventana activa debe permitir que todos los nodos que forman parte de la infraestructura lineal transmitan sus datos si es el caso.

La descripción de la solución mencionadas anteriormente será la base para el diseño del algoritmo que nos permita obtener un diagrama de flujo de la solución, para luego implementar el programa en los nodos sensores.

El diseño del algoritmo será uno de los insumos necesario para definir un modelo matemático para determinar los tiempos de retardo para sincronizar cientos de nodos, los intervalos de tiempo en que cada nodo debe estar en modo activo o inactivo. La descripción de la solución mencionadas anteriormente, es la base sobre la cual se desarrollara el presente proyecto, ya que pretendemos asignar la responsabilidad de sincronizar a todos los nodos de la red en un esquema centralizado mediante la propuesta de algoritmos que trabajen a nivel de enlace con el protocolo IEEE 802.15.4, y no con el soporte de la capa de red que utilizan los protocolos de sincronización.(Choudhury et al., 2018) y de esta manera minimizar los efectos que se tiene por efectos del retardo por transmisión de las tramas, limitada capacidad de cálculo de los nodos y baja calidad del reloj de del nodo sensor, minimizando el consumo de energía al definir estados de actividad óptimos.

Definida el marco de desarrollo de la solución propuesta, y considerando de que se dispone de los nodos para implementar el prototipo en el cual se validara la propuesta, se seleccionará las herramientas de hardware y software, lenguajes de programación, y otros elementos que sean necesarios que permitan continuar con la investigación, implementando y validando los algoritmos propuestos en el prototipo a implementar con los nodos sensores RCB 256RFR2 (ATMEL, 2013). El prototipo de la red de sensores inalámbricos tendrá como mínimo 10 nodos sensores debidamente conectados en topología lineal. La validación de la propuesta se realizará considerando varios niveles de ruido, así como diferentes tipos de tráfico para generar evaluar los tiempos de actividad e inactividad de los nodos. Mediante la utilización de un sniffer se procederá a medir los tiempos de en el cual el nodo está en modo activo y en modo dormido.

Para comprobar el correcto funcionamiento de los algoritmos y validar su funcionamiento, los resultados obtenidos en el prototipo, se compararán con los resultados teóricos obtenidos del modelo matemático. El modelo matemático propuesto permite la definición de los tiempos en el que el nodo debe estar en modo activo y dormido. Este modelo matemático nos permitirá realizar la proyección para una red de topología lineal con miles de nodos que requieren ser sincronizados.

4. Presentación de conclusiones

Durante esta etapa se presentan los resultados de la investigación con un artículo que se considera va a tener una propuesta de alto impacto.

Al Imran, M. A., Dalveren, Y., Tavli, B., & Kara, A. (2020). Optimal operation mode selection for energy-efficient light-weight multi-hop time synchronization in linear wireless sensor networks. *Eurasip Journal on Wireless Communications and Networking*. <https://doi.org/10.1186/s13638-020-01744-y>

ATMEL. (2013). *Atmel AVR10004: RCB256RFR2 – Hardware User Manual*.

Choudhury, N., Matam, R., Mukherjee, M., & Shu, L. (2018). Beacon Synchronization and Duty-Cycling in IEEE 802.15.4 Cluster-Tree Networks: A Review. *IEEE Internet of Things Journal*. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2018.2827946>

Fang, C., Liu, H., & Qian, L. (2011). LC-MAC: An efficient MAC protocol for the long-chain wireless sensor networks. *Proceedings - 2011 3rd International Conference on Communications and Mobile Computing, CMC 2011*. <https://doi.org/10.1109/CMC.2011.65>



Gallegos, A., & Noguchi, T. (2019). IEEE 802.15.4 Historical Evolution and Trends. *International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT*.
<https://doi.org/10.23919/ICACT.2019.8702040>

Kumar S., A. A., Ovsthus, K., & Kristensen., L. M. (2014). An industrial perspective on wireless sensor networks-a survey of requirements, protocols, and challenges. *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. <https://doi.org/10.1109/SURV.2014.012114.00058>

Suhonen, J. (2012). Designs for the Quality of Service Support in Low-Energy Wireless Sensor Network Protocols. In ... *teknillinen yliopisto. Julkaisu-Tampere University of*

Yildirim, K. S., Carli, R., & Schenato, L. (2018). Adaptive Proportional-Integral Clock Synchronization in Wireless Sensor Networks. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*.
<https://doi.org/10.1109/TCST.2017.2692720>

16. INFRAESTRUCTURA Y EQUIPOS

Los elementos de hardware que se utilizarán en este proyecto, son los elementos que se compraron para la realización de los proyectos PIS 17-03 y PII 17-07

Infraestructura	Equipos	
	Nombre del Equipo	Ubicación del Equipo
Laboratorio de Maestría	Nodos RCB256RFR2	Laboratorio Maestría
Laboratorio de Maestría	Programador Nodos ICE	Laboratorio Maestría
Laboratorio de Maestría	Computador	Laboratorio Maestría

B. DATOS INFORMATIVOS

1. INFORMACIÓN DEL DIRECTOR, COLABORADORES Y COLABORADORES TÉCNICOS

Apellidos y nombres	No. de Cédula	HSS*	Departamento**	Rol	Título de mayor nivel y mención.
Egas Acosta Carlos Roberto	1706733167	8	DETRI	Director	MSc.
Carlos Herrera	1707328488	4	DETRI	Investigador Colaborador	MSc
Leonardo Eugenio Vera Sanchez	1717287799	3	DETRI	Personal técnico de Apoyo	Estudiante

X

C. DECLARACIÓN FINAL DECLARACIÓN DEL DIRECTOR DEL PROYECTO

El equipo de investigadores, representado por el Director del Proyecto declara lo siguiente:

- Que el presente proyecto es una creación original de mi autoría y del equipo de investigadores, y por tanto asumimos la completa responsabilidad legal en caso de que un tercero alegue la titularidad de los



derechos intelectuales del proyecto, exonerando a la EPN de cualquier acción legal que se derive por esta causa.

- Que el presente proyecto no ha sido presentado en ninguna convocatoria de otra institución pública o privada. El incumplimiento será causal para que el proyecto no sea tomado en consideración.
- Que si el proyecto genera algún producto o procedimiento susceptible de obtener derechos de propiedad intelectual, de los cuales se deriven beneficios, aceptamos que éstos serán compartidos entre los investigadores y la institución o las instituciones participantes en el proyecto, conforme a lo establecido en el COESC.
- Que el equipo de investigadores y/o instituciones participantes se comprometen a mantener la confidencialidad de la información si ésta podría ser susceptible de protección por patentes, y solicitar la valoración de propiedad intelectual respectiva previa a cualquier publicación o difusión.
- Que para el caso de derechos de autor otorgamos una licencia de uso exclusivo con fines académicos para la o las instituciones participantes en el proyecto.
- Que aceptamos conocer y cumplir con la normativa vigente para la gestión de proyectos.

Firma del Director del Proyecto
Nombre: Carlos R. Egas Acosta
C.I.: 1706733167

