

# Algoritmo de gestión energética aplicado dentro de las WSN's

Diego Mora Delgado

[dmora@getinsoft.com](mailto:dmora@getinsoft.com)

Centro de tecnología avanzada CIATEQ,  
Depto. de Sistemas electrónicos y de control automático

Jalisco, México

## Resumen

En el presente artículo se presenta el diseño de un algoritmo de gestión energética aplicado a los nodos pertenecientes a una red de sensores inalámbricos (WSN) aplicada a la agricultura de precisión. A partir de la implementación de este algoritmo en los nodos, se realiza la captura del perfil de consumo de corriente. Este perfil puede ser utilizado para dimensionar el sistema fotovoltaico autónomo que sustentará energéticamente a los nodos. La característica que se persigue al momento de dimensionar un sistema fotovoltaico autónomo es la fiabilidad.

Por su parte, el algoritmo de gestión energética busca hacer más eficiente el consumo energético de los nodos. Aplicar este algoritmo propuesto en una red de sensores inalámbricos tendrá como resultado un sistema fotovoltaico autónomo fiable y, como consecuencia, la red de sensores inalámbricos desplegada en campo también lo será.

**Palabras clave:** Redes de sensores inalámbricos, agricultura de precisión, sistemas fotovoltaicos autónomos, eficiencia energética.

## Abstract

*This article presents the design of an energy management algorithm implemented in the nodes belonging to a wireless sensor network (WSN) applied in precision agriculture. By the implementation of the algorithm on the nodes, the capture of the current consumption profile is carried out; this profile can be used to size the autonomous photovoltaic system that sustains energetically the nodes. The characteristic that is pursued when sizing an autonomous photovoltaic system is the reliability of it.*

*Meanwhile the energy efficiency management algorithm seeks to make more efficient the energy consumption of the nodes. Applying the energy efficiency algorithm proposed in a wireless sensor network will result in a reliable autonomous photovoltaic system and, consequently, the wireless sensor network deployed in the field will also be.*

**Keywords:** *Wireless sensor networks, precision agriculture, autonomous photovoltaic systems, energy efficiency.*

---

### Artículo arbitrado

---

Recibido:  
04 de junio de 2019

Aceptado:  
14 de octubre de 2019

## Introducción

Cuando hablamos de redes de sensores inalámbricos, también conocidas como WSN (*Wireless Sensor Network*) nos referimos a una red inalámbrica *ad hoc*. Las redes *ad hoc* se definen como una arquitectura de computación distribuida, la cual ofrece estructura, tecnología y control independiente implementado en red. Esta arquitectura soporta modalidades de inundación de red (*flooding*) y de punto a punto (Bandur, Jakšić, Jović, & Bandur, 2018).

Las redes de sensores inalámbricos constan de, por lo menos, dos dispositivos principales: los nodos sensor y el nodo fuente. Los nodos sensor representan la capa de obtención de datos. Estos tienen como función generar datos a partir de una variable física con la ayuda de sensores o transductores. Los nodos sensor toman lectura de sus sensores o transductores de manera periódica o ante eventos, luego estas lecturas tomadas son enviadas al *buffer* del transceptor de radiofrecuencia para ser transmitidas al nodo fuente. El intervalo de tiempo de transmisión o el evento para desencadenar la medición de las variables físicas, lo define la capa de aplicación de la red de sensores inalámbricos.

Un tema de gran interés dentro del diseño de las redes de sensores inalámbricos es el consumo de energía y la vida útil de la batería de los nodos. El tiempo de vida de un nodo dentro de una red de sensores inalámbricos viene definida por el tiempo de vida de su batería. Un manejo eficiente de la gestión de la energía en los nodos es un factor crítico en el tiempo de vida de la red entera. Por lo tanto, para prolongar el tiempo de vida de la red de sensores inalámbricos es crucial reducir el consumo de energía al mínimo posible (Hafiz Husnain Raza Sherazi, 2017).

Algunas de las recomendaciones en el tema energético de los nodos sensor pertenecientes a una red de sensores inalámbricos son:

1. Minimizar los tiempos de escucha de los transceptores de comunicación inalámbrica.

2. Hibernar los componentes o sensores cuando no se necesiten.
3. Maximizar el rendimiento del enrutado de los paquetes de datos.
4. Utilizar un sistema de regeneración energética, como solar, eólico, etc.
5. Minimizar las colisiones de datos en el canal de los transceptores. Esto se logra con una buena implementación del protocolo de control de acceso al medio (MAC) (Faheema, Aslam Butt, & Razac, 2018).
6. Ejecutar el protocolo de enrutamiento teniendo en cuenta los puntos geográficos de los nodos, así como las capacidades de los transceptores inalámbricos utilizados.

La fiabilidad de una red de sensores inalámbricos depende de la durabilidad de sus baterías. Para maximizar lo más posible la vida útil de las baterías de los nodos, es conveniente realizar un correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo, que sustentará la energía eléctrica consumida por su operación.

Por dimensionamiento de sistema, se entiende la tarea fundamental del cálculo del tamaño óptimo de la instalación, es decir, el tamaño del generador de energía (panel fotovoltaico) y del acumulador de energía (banco de baterías) (Hanane, Ouberria, & Aroudama, 2018).

El dimensionamiento de un sistema fotovoltaico autónomo no se basa en contar con una gran tasa de producción de energía, se basa en una caracterización fundamentada en las cargas o carga que estarán conectadas al sistema. Lo que busca el dimensionamiento en los sistemas fotovoltaicos autónomos es la fiabilidad, es decir, si lo dimensionado es capaz de mantener funcionando la carga durante las 24 horas del día, todos los días del año.

Para proporcionar la fiabilidad necesaria se pueden utilizar técnicas de ahorro energético e, incluso, técnicas de aprovechamiento de la potencia generada por el panel solar.

Una de las técnicas de aprovechamiento de la potencia generada por las celdas fotovoltaicas en distintos momentos del día, se trata de la técnica del seguimiento del punto de máxima potencia o

*Maximum Power Point Tracker* (MPPT). Dicha técnica utiliza la regla de la máxima transferencia de potencia para aprovechar al máximo la energía generada por el panel fotovoltaico (A. Frezzetti, 2015).

Para poder dimensionar adecuadamente un sistema fotovoltaico autónomo para los nodos, se propone seguir los siguientes pasos:

1. Realizar una investigación de las condiciones geográficas donde se instalará la red de sensores inalámbricos. Esto será útil para determinar los grados de inclinación del panel fotovoltaico y las horas solares diarias promedio en ese punto geográfico.
2. Contar con la arquitectura y todos los componentes, sensores y transductores del nodo, para el que se quiere diseñar el sistema fotovoltaico autónomo.
3. Realizar un estudio de la potencia instalada. En este caso en específico se trata de analizar el consumo energético de todos los componentes que integran el nodo.
4. Analizar el consumo energético y el tiempo de duración de los eventos. La definición de eventos se realiza al momento de la implementación del algoritmo de gestión energética. Un evento podría ser, por ejemplo, la transmisión de datos al nodo base o la lectura de determinado módulo de sensores.
5. Con base en los análisis anteriores se puede realizar el dimensionamiento del generador fotovoltaico y del banco de baterías.
6. Corroborar el dimensionamiento. Esto se lleva a cabo conectando el nodo a un sensor de corriente y dejando que la red de sensores inalámbricos funcione como lo hará en campo. Se pueden utilizar los datos recolectados para verificar el correcto dimensionamiento del sistema fotovoltaico autónomo.

Siguiendo los pasos anteriores se debe obtener lo siguiente:

1. Un sistema fotovoltaico autónomo dimensionado acorde al perfil de consumo del nodo.
2. Una red de sensores inalámbricos con una eficiencia energética y fiabilidad mejorada. Esto gracias a la implementación en los nodos del algoritmo para el uso eficiente de la energía.

## Metodología

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizará una metodología en cascada. Este proceso sistematizado contará con las partes mostradas en la Figura 1.

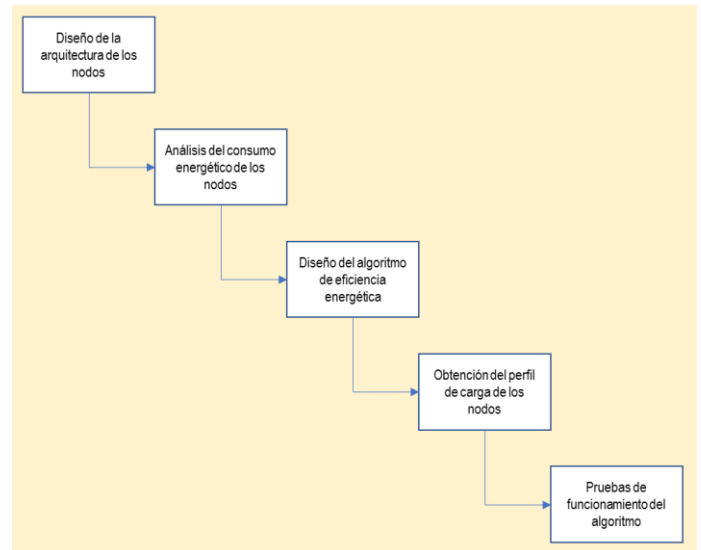


Figura 1. Metodología utilizada para el desarrollo del proyecto.

Fuente: elaboración propia.

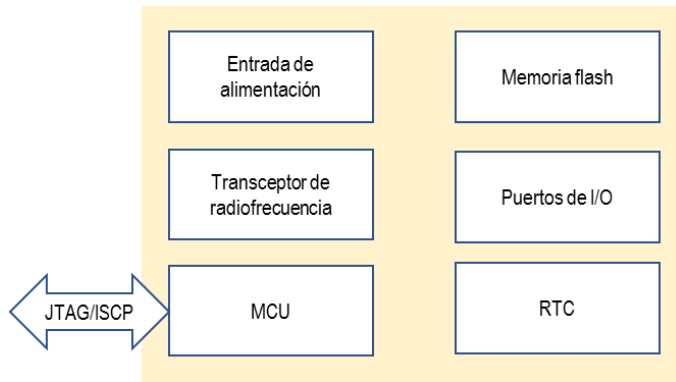
### 1. Diseño de la arquitectura de los nodos

Los nodos diseñados deben de contar con ciertas características para que estos puedan operar en una red de sensores inalámbricos. Estas características son:

1. Contar con un elemento de procesamiento (MCU).
2. Contar con un elemento de comunicación inalámbrica (transceptor de radiofrecuencia).
3. Contar con elementos de comunicación periféricos (puertos I/O). Estos puertos se utilizarán para obtener la información de sensores y/o transductores.
4. Sistema para el sustento de energía al nodo sensor. En este caso se tratará de un sistema fotovoltaico autónomo.
5. Reloj de tiempo real (RTC). Este elemento es muy importante para la implementación del algoritmo de eficiencia energética.
6. Interfaz de programación o depuración (JTAG/ISCP).

Los nodos sensor pertenecientes a una red de sensores inalámbricos deben desempeñar únicamente las tareas para las que fueron diseñados, ya que estos vienen limitados en poder computacional, memoria, tanto volátil como no volátil, y, sobre todo, en

almacenamiento de energía (Amin, Islam, & Biswas, 2017). En la Figura 2 se muestran los principales elementos que componen un nodo sensor.



**Figura 2.** Principales elementos que componen a un nodo sensor. Fuente: elaboración propia.

Los nodos base son los encargados de enviar la información recolectada en campo a un servicio en la nube. A diferencia de los nodos sensor, este tipo de nodo no cuenta con una etapa de obtención de datos de variables; sin embargo, cuenta con dos elementos sumamente importantes dentro de una red de sensores inalámbricos, los cuales son:

1. Transceptor GPRS || WiFi || satelital. Este elemento es el encargado de establecer la comunicación con el API del servicio en la nube, el cual está preparado para recibir los datos recolectados en campo.
2. Interfaz de configuración de la red de sensores inalámbricos. El objetivo de esta interfaz de usuario es configurar la red de sensores inalámbricos y los parámetros de comunicación con el API del servicio en la nube donde serán almacenados los datos. En este caso se implementó un lector de memorias microSD donde, a partir de archivos, se configuran dichos parámetros.

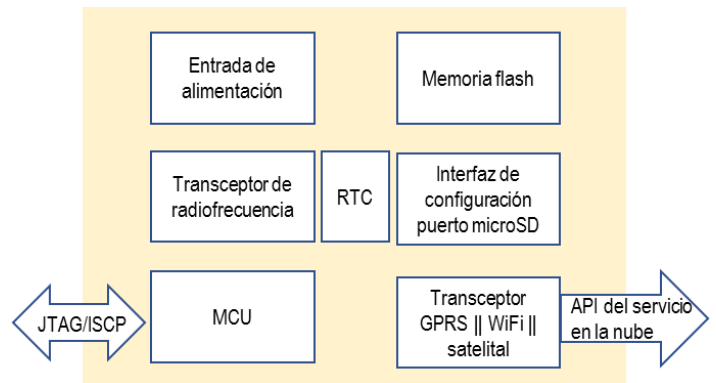
En la Figura 3 se ilustran los principales elementos que componen un nodo base.

### 1.1. Diseño de las tarjetas de circuito impreso de los nodos sensor y nodo base

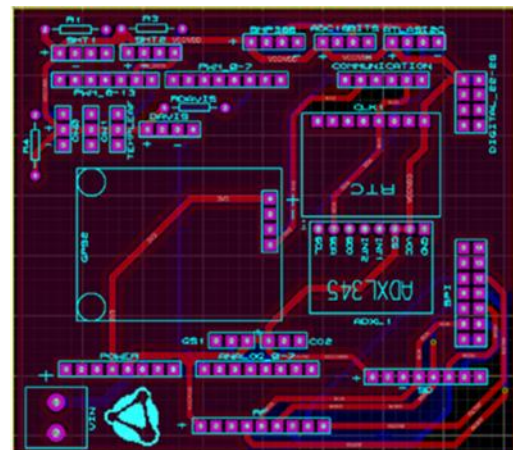
Se diseñaron placas de circuito impreso para los nodos sensor y el nodo base.

El diseño de la placa de circuito impreso del nodo sensor está preparado para conectar los siguientes sensores:

1. Hasta seis sensores de temperatura DS18B20.
2. Hasta tres transductores de PH o EC.
3. Hasta dos sensores de contenido volumétrico de agua en suelo GS-1.
4. Un anemómetro.
5. Un pluviómetro.
6. Hasta cuatro sensores de radiación fotosintéticamente activa, ultravioleta y solar global.
7. Un sensor de presión atmosférica BMP388.
8. Hasta dos sensores de temperatura y humedad relativa SHT10.
9. Un transductor de CO2.
10. Un módulo de GPS.



**Figura 3.** Principales elementos que componen a un nodo base. Fuente: elaboración propia.



**Figura 4.** Se muestra una imagen de la vista del diseño de la PCB del nodo sensor. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 4 se muestra una imagen placa de circuito impreso diseñada para el nodo base.

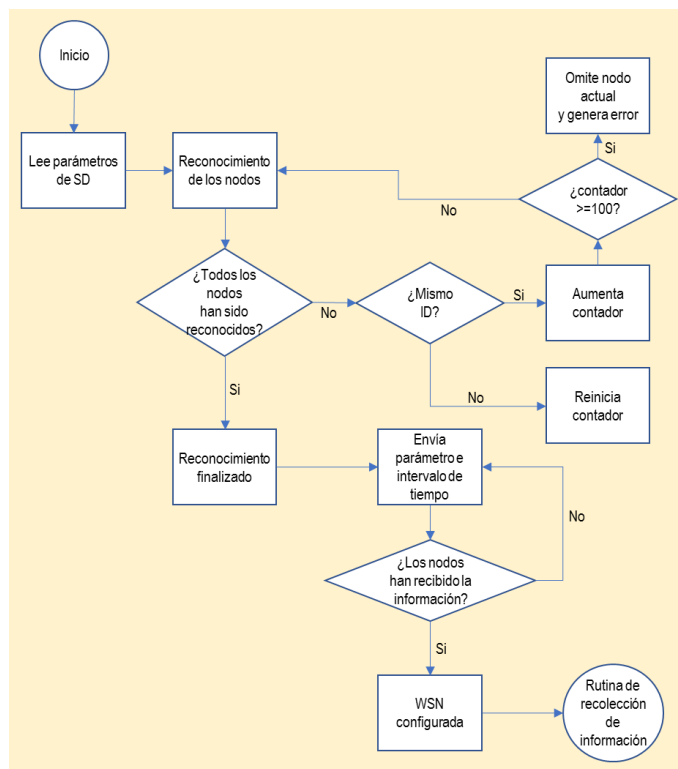


Proceso	Nodo donde se ejecuta	Descripción
Lectura de archivo de configuración	Nodo base	Se obtiene la información de configuración de la red
Reconocimiento de nodos	Nodo base y nodos sensor	El nodo base identifica todos los nodos sensor configurados en la red
Reconocimiento finalizado	Nodo base	Todos los nodos sensor han sido identificados y envía confirmación a la red.
Envío de minuto actual e intervalo de tiempo	Nodo base y nodos sensor	El nodo base envía los parámetros y los nodos sensor responden de recibido
Configuración de los parámetros de sincronización	Nodos sensor	Los parámetros recibidos son aplicados y la red se sincroniza
Inicio de rutina de recolección de información	Nodo base y nodos sensor	El nodo base inicia la rutina de recolección de información y los nodos sensor entran en este proceso
Activación del modo de bajo consumo	Nodo base y nodos sensor	Una vez que todos los nodos sensor han enviado sus datos al nodo base y este los ha enviado al servicio web, los nodos se ponen en modo de bajo consumo

**Tabla 3** Procesos del algoritmo de gestión energética.  
Fuente: elaboración propia

El algoritmo implementado en el nodo base tiene como tarea coordinar los intervalos de tiempo indicados dentro de los archivos de configuración. Los procesos en los cuales se identifican los nodos sensor y se configura la red de sensores inalámbricos se detallan en un diagrama de flujo mostrado en la Figura 6 y se explican a continuación:

1. Lectura de parámetros de tarjeta MicroSD. En este proceso se ejecuta la lectura de la información contenida en los archivos de configuración de la red de sensores inalámbricos que el usuario ha ingresado. En estos archivos de configuración, se configuran tanto los parámetros de conexión a la API web que recibirá la información, el intervalo de tiempo de muestreo y los nodos sensor que pertenecen a la red que se está configurando.



**Figura 6.** Diagrama de flujo de la configuración de la WSN.  
Fuente: elaboración propia.

La información obtenida de este proceso se utilizará para buscar y reconocer cada uno de los nodos sensor, configurar el nodo base para conectarse al servicio en la nube y establecer el intervalo de tiempo de recolección de información.

2. Reconocimiento de los nodos sensor. En este proceso se utiliza el transceptor de radiofrecuencia para buscar los nodos sensor, ya que cada uno de ellos cuenta con un identificador único.

Este identificador se ingresa al archivo de configuración y el nodo base lo tomará para buscar dicho nodo dentro de su rango de comunicación. Se trata de una tarea iterativa donde el nodo base envía el identificador del nodo sensor y espera por una respuesta. Esta tarea se realizará con cada uno de los nodos que sean encontrados en el archivo de configuración. Si un nodo sensor no responde, se incrementa un contador con cada llamada a la que no responda, si el número de incidencias llega a 100, el

nodo base omitirá este nodo y generara un error que será enviado al servicio en la nube.

3. Reconocimiento finalizado. En este proceso el nodo base envía a la red un código indicando que el proceso de reconocimiento de los nodos sensor ha finalizado. Este código es utilizado por los nodos sensor para pasar a otro proceso, el cual será detallado cuando se revise el diagrama de flujo de los nodos sensor.

4. Envío de minuto actual e intervalo de tiempo. En este proceso el nodo base transmite dos parámetros: uno de ellos es el intervalo de tiempo y el otro es el minuto, en el que se está ejecutando el presente proceso. De esta manera, los nodos sensor se sincronizan con el nodo base.

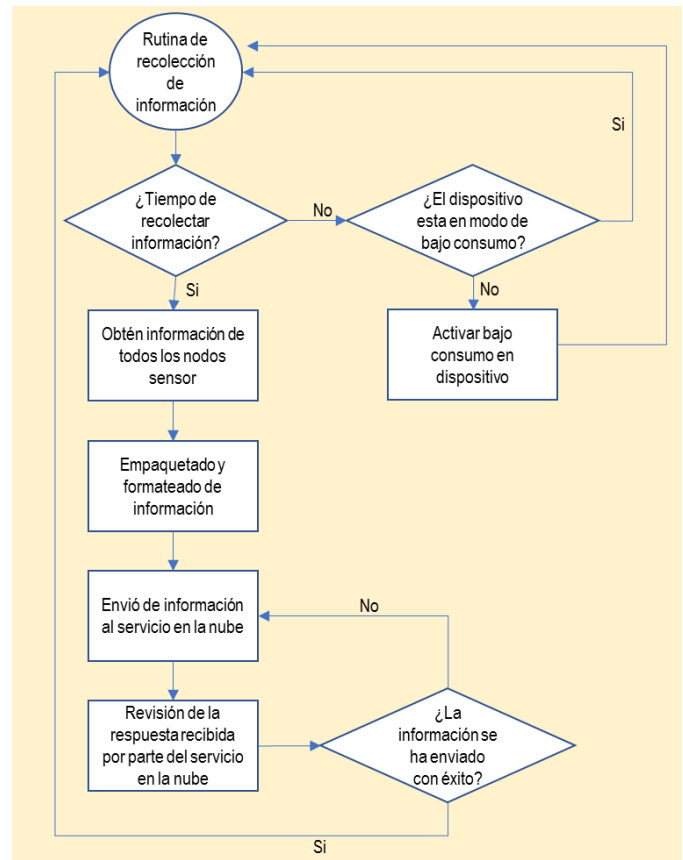
5. ¿los nodos han recibido la información? En este proceso el nodo base tiene que recibir todas las confirmaciones de los nodos sensor. En caso de no hacerlo, el nodo base tiene que volver a enviar los parámetros del proceso anterior.

6. Después que la red de sensores inalámbricos ha sido configurada, el nodo base comienza la rutina de recolección de información.

La rutina de recolección de información inicia la petición a cada nodo sensor, una vez que el RTC del nodo base alcanza el intervalo de tiempo definido. En este punto, el nodo base se encuentra en modo de bajo consumo, por lo tanto, lo primero que se hace es activar los transceptores de comunicación y comenzar a realizar las peticiones de información a cada nodo sensor. El diagrama de flujo de la rutina de recolección de información se ilustra en la Figura 7.

El algoritmo de reconocimiento del nodo base ejecutado en el nodo sensor se trata de un proceso de tres iteraciones. Dentro de estas iteraciones el nodo base se comunica con todos los nodos sensor en su red para revisar si:

1. Cada uno de los nodos sensor ya lo ha identificado como nodo base.
2. El nodo base le hace saber a los nodos sensor que todos ya han sido identificados.
3. El nodo base envía los parámetros de sincronización y los nodos sensor responden.
4. El nodo base inicia la rutina de recolección de información.

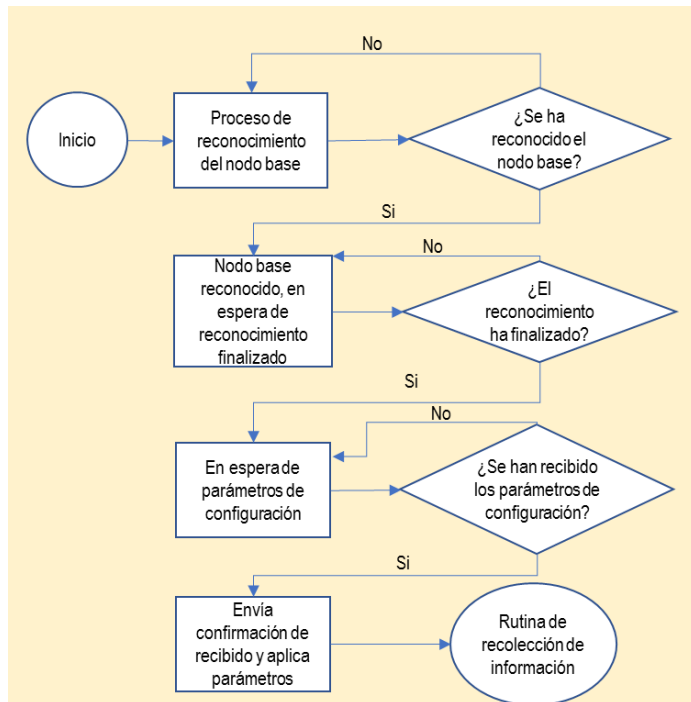


**Figura 7.** Diagrama de flujo de la rutina de recolección de información. Fuente: elaboración propia.

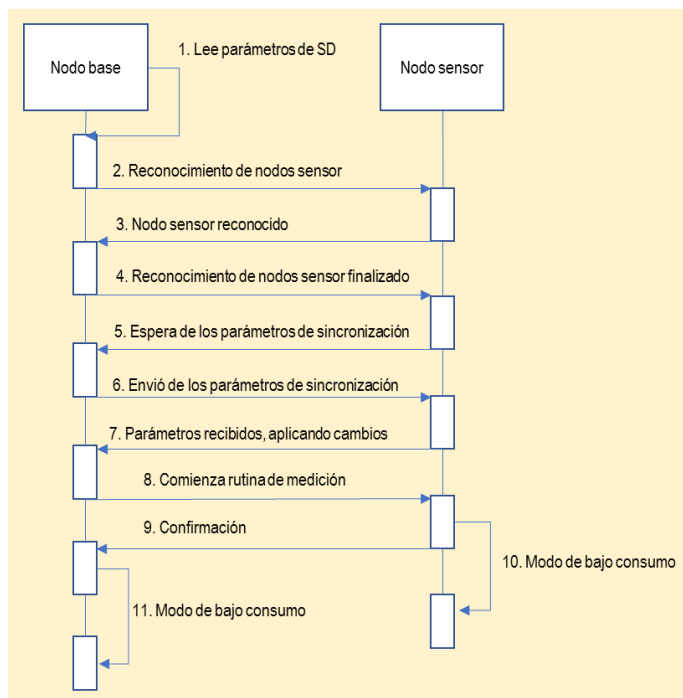
El diagrama de flujo del reconocimiento del nodo base se muestra en la Figura 8.

El diagrama de secuencia entre un nodo sensor y el nodo base, en la etapa de configuración de la red de sensores inalámbricos, detalla la interacción que se lleva a cabo entre estos dos objetos. Este diagrama se muestra en la Figura 9.

Una interacción similar se presenta en la etapa de recolección de información, donde el nodo base solicita a cada nodo sensor de la red la información y este le contesta con la información solicitada.



**Figura 8.** Diagrama de flujo del reconocimiento del nodo base.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 9.** Diagrama de secuencia entre el nodo base y nodo sensor.  
Fuente: elaboración propia.

#### 4. Obtención del perfil de carga de los nodos sensor y nodo base

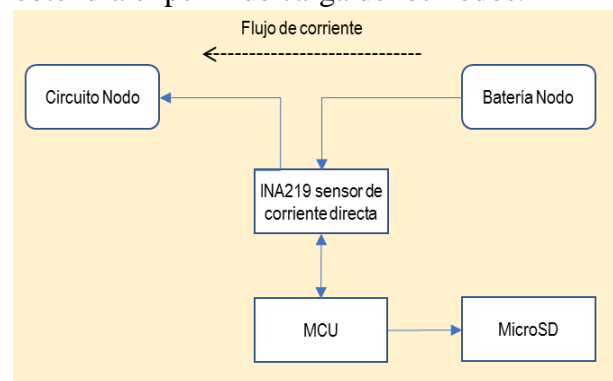
El perfil de carga de los nodos pertenecientes a una red de sensores inalámbricos se trata de un conjunto de datos muy importante. A partir de este perfil se propone que se dimensione el sistema fotovoltaico autónomo que sustentará el consumo energético de los nodos. El perfil de carga es un gráfico del consumo energético de una determinada carga o cargas eléctricas en relación con el tiempo.

Históricamente, los datos de demanda de carga a menudo referidos como duración de curva de carga, se usaron para la planificación de la expansión del sistema eléctrico y para el pronóstico de carga (Le Ray & Pinson , 2018). En este caso, el perfil de carga puede ser usado para dimensionar el sistema fotovoltaico autónomo y, de esta manera, satisfacer las necesidades energéticas de los nodos.

Para poder obtener los perfiles de carga de los nodos se necesita un elemento que obtenga los datos de la demanda de corriente y otro que almacene estos datos. Es por esta razón que se implementó un sistema que consta de tres elementos principales:

1. Microprocesador
2. Sensor de corriente en DC
3. Elemento de almacenamiento de datos, en este caso un puerto MicroSD.

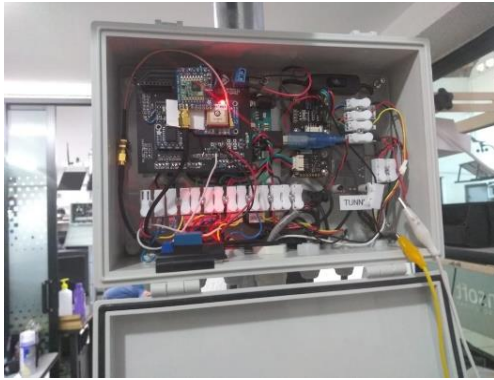
En la Figura 10 se detalla el circuito mediante el cual se obtendrá el perfil de carga de los nodos.



**Figura 10.** Circuito de obtención del perfil de carga de los nodos.  
Fuente: elaboración propia.



En la Figura 11 se muestra el punto dentro del nodo sensor donde se conecta el sensor de corriente.



**Figura 11.** Conexión del nodo con el circuito de obtención de perfil de corriente. Fuente: elaboración propia.

El sistema de obtención del perfil de carga se colocó justo por debajo del gabinete del circuito del nodo. Tal como se muestra en la Figura 12.



**Figura 12.** Nodo sensor conectado al circuito de obtención del perfil de carga. Fuente: elaboración propia.

De esta manera, el perfil de carga de la red de sensores inalámbricos podrá ser monitoreado durante el funcionamiento normal de todos los nodos pertenecientes a la red.

De igual manera, se colocaron instrumentos de medición de corriente para corroborar los datos recolectados por el sensor INA219; sin embargo, los

datos que son insertados en el archivo .xls son los recolectados por el sensor de corriente.

Los primeros datos recolectados corresponden a la red de sensores inalámbricos que trabajan sin el algoritmo de eficiencia energética implementado. En este modo, sus transductores y transeptores no entran en estado de bajo consumo, ya que los nodos sensor tienen que estar siempre escuchando, en espera de una petición por parte del nodo base.

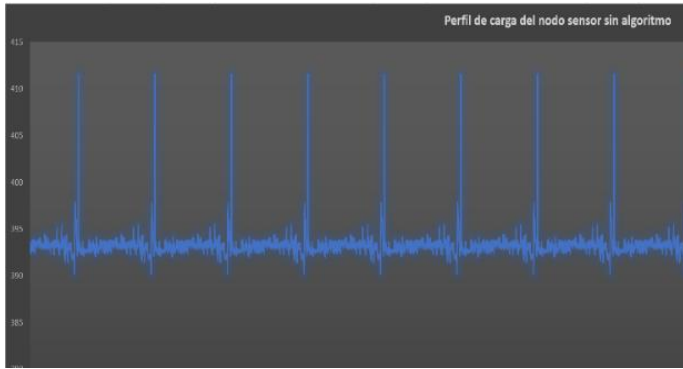
Para el nodo base el promedio de consumo de corriente sin el algoritmo es de 463.31 mA, un mínimo de 430 mA y un máximo de 520 mA. Su perfil de carga se muestra en la Figura 13.



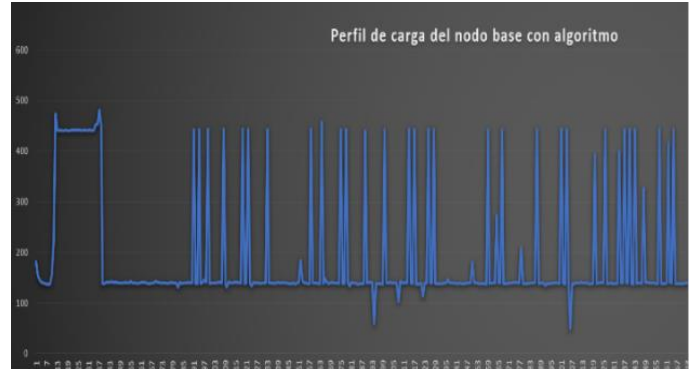
**Figura 13.** Perfil de carga del nodo base sin algoritmo. Fuente: elaboración propia.

Los picos de corriente de más de 500 mA se deben a las peticiones que realiza el módulo GPRS a la red celular, por lo general durante un envío de información. Las primeras 10 mediciones se tomaron durante la etapa de inicialización, es decir, los transeptores aun no eran activados. Esta es la razón de un consumo de aproximadamente 150 mA al inicio.

Ahora, observemos los datos obtenidos de los nodos sensor. En su caso, los nodos sensor sin el algoritmo implementado mostraron un consumo promedio de 395.19 mA, mínimos de 386 mA y máximos de 412.5 mA. Su perfil de carga se ilustra en la Figura 14.



**Figura 14.** Perfil de carga del nodo sensor sin algoritmo.  
Fuente: elaboración propia.



**Figura 15.** Perfil de carga del nodo base con algoritmo.  
Fuente: elaboración propia.

Una vez que se cuenta con los datos necesarios para evaluar la eficiencia del algoritmo, a través de su implementación en los nodos, es momento de poner en marcha la red de sensores inalámbricos y obtener los datos resultantes.

## Resultados

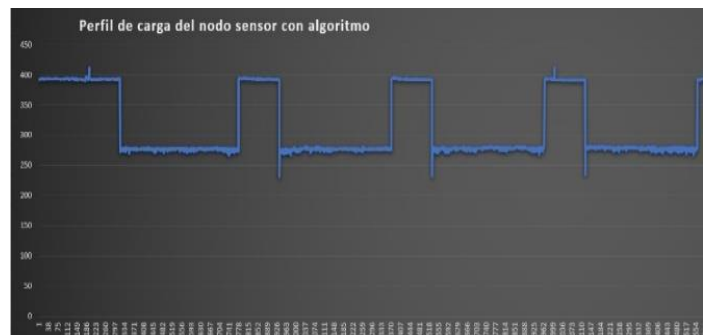
Se desarrolló el algoritmo y se implementó en los nodos sensor y nodo base de la red de sensores inalámbricos. Hecho esto, se evaluó que el comportamiento o las tareas de cada uno de los nodos no se vieran afectadas por la implementación del algoritmo, es decir, se valoró el comportamiento de la red de sensores inalámbricos para identificar cualquier anomalía en su desempeño, debido a la implementación del algoritmo del manejo de la eficiencia energética.

El primer perfil de carga obtenido se trata del nodo base, el cual presenta un consumo promedio de 187.26 mA, mínimo de 50 mA y máximo de 490 mA. Su perfil de carga se muestra en la Figura 15:

El ahorro energético en este nodo es muy elevado, debido a que la totalidad de sus componentes se ponen en bajo consumo cuando no son utilizados. Sin embargo, cuando se realiza un envío de información al servicio web los picos de corriente pueden alcanzar hasta 500 mA.

El pico de corriente que se presenta al inicio de la medición corresponde a la etapa de configuración de la red de sensores inalámbricos, en la cual los elementos del nodo base están activos hasta que todos los nodos sensor han sido correctamente identificados.

Por su parte, los nodos sensor arrojaron los siguientes datos durante la obtención de su perfil de carga el cual se muestra en la Figura 16.



**Figura 16.** Perfil de carga del nodo sensor con algoritmo.  
Fuente: elaboración propia.

Los datos recolectados muestran un consumo energético promedio de 313.38 mA, mínimos de 230 mA y máximos de 413 mA. De igual forma que en el perfil de carga del nodo base, el nodo sensor presenta un pico de corriente al inicio. Este pico de corriente se debe al protocolo de configuración de la red de sensores inalámbricos y, en este caso, cuando el nodo sensor ha sido identificado con éxito, aplica las técnicas implementadas en el algoritmo de

eficiencia energética para hibernar los componentes que no se necesitan.

En la Tabla 4 se muestra una comparación con los datos recolectados con y sin el algoritmo de eficiencia energética implementado.

	Nodo sin algoritmo		Nodo con algoritmo	
	Base	Sensor	Base	Sensor
Máximos	520 mA	412 mA	490 mA	413 mA
Mínimos	430 mA	386 mA	50 mA	230 mA
Promedio	463.33 mA	395.19 mA	187.26 mA	313.38 mA
<b>Ahorro promedio</b>			<b>276 mA</b>	<b>81.81 mA</b>

**Tabla 4.** Comparación de los perfiles de carga con y sin el algoritmo de eficiencia energética. Fuente: elaboración propia.

## Discusión y conclusiones

En la introducción del presente artículo se menciona que una de las partes fundamentales de las redes de sensores inalámbricos es la fiabilidad de sus nodos. Para que los nodos pertenecientes a una red de sensores inalámbricos sean fiables, no solo necesitan contar con un software que maneje errores de enrutamiento y corrupción de datos, es también necesario contar con un sistema de generación energética confiable que proporcione la energía necesaria para que los nodos operen las 24 horas del día.

Sin embargo, contar con un sistema de generación energética confiable no es suficiente, también hay que contar con un manejo eficiente de la energía que consumen los nodos de la red inalámbrica de sensores.

El algoritmo que ejecuta el protocolo de recolección de información desarrollado utiliza el intervalo de tiempo de envío de información para establecer el modo de bajo consumo. Es por esta razón que los relojes de tiempo real de los nodos juegan un papel tan importante, ya que sus datos son utilizados como disparadores de eventos de tiempo para establecer los modos de operación de la red de sensores inalámbricos.

El objetivo de desarrollar el algoritmo de gestión energética para la red de sensores inalámbricos desarrollada a fin de su aplicación en la agricultura de precisión es la de contar con dispositivos de recolección de información fiables en campo, los cuales aprovecharán al máximo la energía generada y almacenada por el sistema fotovoltaico autónomo dimensionado para cada nodo.

Cabe señalar que una red de sensores inalámbricos depende de la capacidad de operación de sus nodos en el ambiente donde es desplegada. Por lo tanto, los nodos deben de ser aptos para operar en campos de cultivo, donde la frecuencia de interacción del dispositivo con los usuarios será muy baja. De esta manera, la red de sensores inalámbricos debe de ser capaz de operar las 24 horas del día sin ningún tipo de interacción con personal calificado. Esto con la intención de cumplir con una de las premisas de la agricultura de precisión, que es la de recolectar datos para conocer la variabilidad espacial y temporal de los campos de cultivo.

En la Tabla 4 se muestra un ahorro energético promedio en los nodos sensor de 81.81 mA, que significa un ahorro de 1.963 Ah/día. Por su parte, el nodo base con una reducción en su consumo de 276 mA presenta un ahorro de 6.625 Ah/día. El porcentaje de ahorro en el nodo base es mucho mayor al del nodo sensor, esto se debe a que el nodo base cuenta sólo con transceptores inalámbricos, los cuales funcionan únicamente durante el proceso de recolección y envío de información y es en estos momentos donde el algoritmo de gestión energética centra sus esfuerzos.

## Referencias

- Bandur, Đ., Jakšić, B., Jović, S., & Bandur, M. (2018). An analysis of energy efficiency in Wireless Sensor Networks (WSNs) applied in smart agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 156(6), 500-507.
- A. Frezzetti, S. M. (2015). A PV Model-based Design of a MPPT Controller for Energy Harvested Wireless Sensor Nodes. *IFAC Proceedings Volumes*, 46(2), 101-106.
- Amin, R., Islam, S., & Biswas, G. (2018). A robust mutual authentication protocol for WSN with multiple base-stations. *Ad Hoc Networks*, 75-76(1), 1-18.
- Elappila, M., Chinara, S., & Parhi, D. (2017). Survivable Path Routing in WSN for IoT applications. *Pervasive and Mobile Computing*, 43(1), 49-63.
- Faheema, M., Aslam Butt, R., & Razac, B. (2019). Energy efficient and reliable data gathering using internet of software-defined mobile sinks for WSNs-based smart grid applications. *Computer Standards & Interfaces*, 66(2), 103-121.
- Hafiz Husnain Raza Sherazi, L. A. (2018). A comprehensive review on energy harvesting MAC protocols in WSNs: Challenges and tradeoffs. *Ad Hoc Networks*, 71(1), 117-134.
- Hanane, Y., Ouberria, Y., & Aroudama, E. (2019). Enhancement of Power Production of an Autonomous PV System based on robust MPPT technique. *Procedia Manufacturing*, 32(3), 397-404.
- Le Ray, G., & Pinson, P. (2018). Online adaptive clustering algorithm for load profiling. *Sustainable Energy, Grids and Networks*, 17(1), 100-109.