

Evaluación del tiempo de operación de un nodo inalámbrico en la transmisión de video sobre IPv6

Evaluation of the operating time of a wireless node in the transmission of video over IPv6

Carlos Egas A, Iván Ontaneda, Carlos Herrera

Abstract—Many applications on the Internet of things require portable nodes, with mobile connectivity, powered by batteries to be able of transmitting video of good quality for long periods. Maximizing the operating time of portable nodes that work with batteries is a challenge today. We present the results of the evaluation of the operating time of a small size wireless node that uses batteries and transmits video over IPv6 to devices connected to the Internet. The tools used for the implementation, configuration of the prototype elements, and the descriptions of the different scenarios are presented, where the current and the operating voltage of the node are measured to calculate the energy consumed and the operating time of the node. The calculated value is compared with the operating time measured in a real environment validating the simple expressions used to evaluate the operating time of a node.

Index Terms— Ipv6, Energy, Video, IoT

Resumen—Muchas aplicaciones en Internet de las Cosas requieren nodos portátiles para transmitir video de buena calidad, durante largos períodos, con conectividades móviles y alimentadas por baterías. Maximizar el tiempo de funcionamiento de los nodos portátiles que usan baterías es un desafío hoy en día. Se presentan los resultados de la evaluación del tiempo de funcionamiento de un nodo inalámbrico de pequeño tamaño que usa baterías y transmite video a través de IPv6 a dispositivos conectados a Internet. Se presentan las herramientas utilizadas para la implementación, la configuración de los elementos prototipo y las descripciones de los diferentes escenarios. La corriente y el voltaje de funcionamiento del nodo se miden para calcular la energía consumida y el tiempo de funcionamiento del nodo. El tiempo calculado se compara con el tiempo medido en un entorno real, para validar las expresiones simples utilizadas para evaluar el tiempo de funcionamiento de un nodo.

Palabras Claves— Ipv6, Energía, video, IoT

I. INTRODUCCIÓN

EL VERTIGINOSO avance de la tecnología experimentado en los últimos años, ha contribuido de una manera eficaz al desarrollo del Internet de las Cosas, en aspectos tan

C. Egas, C. Herrera son miembros del Grupo de Investigación GI-IOT Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador (e-mail: carlos.egas, carlos.herrera@epn.edu.ec).

I. Ontaneda, Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador (e-mail: ivan.ontaneda@hotmail.com)

cotidianos como la iluminación, climatización, seguridad, comunicación, etc. La utilización de nodos inalámbricos que trabajen con batería por largos periodos de tiempo para estas aplicaciones, es un problema a resolver, es por esta razón, que el grupo de investigación GI-IoT de la Escuela Politécnica Nacional, trabaja en la optimización del consumo de energía en nodos inalámbricos, en varios proyectos de investigación. Dentro de las pruebas realizadas en el proyecto PII-17-7 [1] se realizaron varios experimentos, uno de los cuales presentamos en este artículo.

En la actualidad, hasta el momento, no se ha difundido aplicaciones que utilicen para su funcionamiento el protocolo IPv6 (Internet Protocol version 6) aun cuando las redes de los proveedores de Internet en el país ya operan con este protocolo y los nodos de acceso a los hogares se configuran automáticamente con IPv6. Debido a que el tráfico de IPv6 a nivel internacional crece exponencialmente [2], se espera que a corto plazo el desarrollo de nuevas aplicaciones con este protocolo sea cada vez mayor.

Por otra parte, la necesidad de tener nodos portátiles [3], requiere el uso de baterías como fuente de alimentación de los nodos, lo que permite que la selección del lugar donde se colocará el nodo, no dependa de puntos de acceso a la energía eléctrica.

El uso de baterías limita el tiempo de operación de los nodos, por lo que el reto tecnológico en este tipo de nodos es lograr un máximo tiempo de operación [4]. El tamaño de los nodos también es un requerimiento importante para ciertas aplicaciones ya que se necesita que el nodo sea portable (peso y tamaño) y este en capacidad de transmitir video con buena resolución.

La movilidad de conectividad del nodo en la red, también es importante, por lo que, el transporte de la información requiere de redes con IPv6 [5] para tener una conectividad extremo a extremo, y por sobre todo, se requiere que el nodo este operativo por largos periodos de tiempo. En el mercado, en la actualidad, existen nodos que satisfacen parcialmente los requerimientos planteados para la transmisión de video.

La determinación de una manera sencilla del tiempo máximo de operación del nodo sensor, cuando transmite video, es el objetivo planteado en este estudio. Para determinar

el tiempo de operación del nodo se realizan mediciones del consumo de energía cuando se transmite video sobre la red IPv6 y sus resultados se comparan con el tiempo medido de operación de un nodo sensor hasta que deje de funcionar. Para realizar las medidas se implementa un prototipo de red, con un nodo sensor inalámbrico con una interface WiFi que transmite video sobre IPv6 a un dispositivo conectado a la red Internet con IPv6

II. METODOLOGÍA

Para la obtención de los datos que permiten evaluar el tiempo de operación del nodo sensor, se utiliza la plataforma de computación ultra pequeña, denominada Intel Edison desarrollada por Intel® y que es capaz de transmitir video con alta resolución mediante IPv6 [6].

La plataforma Intel Edison se compone del módulo Intel Edison [7]. Esta plataforma, que opera con baterías, está diseñada para facilitar la implementación de aplicaciones para el Internet de las Cosas y permite cumplir con el requerimiento de tener nodos móviles y portátiles para la transmisión de video.

La tarjeta de desarrollo Intel Breakout [8], fue diseñada para la creación de prototipos con hardware y software libre, y permite la creación de aplicaciones con la plataforma Intel Edison la cual se muestra en la Fig. 1.



Fig. 1. Tarjeta de desarrollo Intel Breakout.

La tarjeta Intel Breakout, que en adelante se llamará nodo sensor, puede funcionar con una batería con valores de voltaje en el rango de 7 a 15Vdc, banda dual (2.4 y 5GHz) con la norma IEEE 802.11a/b/g/n, 1GB de memoria RAM, almacenamiento interno de 4GB, y con un procesador Intel® Atom™ que trabaja a una frecuencia de 500MHz.

A. Implementación del prototipo

El diagrama del prototipo implementado se presenta en la Fig. 2. El nodo sensor permite transmitir video captado por una cámara web, sobre la red IPv6 y el video transmitido se visualiza en una página web del dispositivo móvil, laptop o PC.

El sistema operativo seleccionado para programar y configurar el nodo sensor es Linux Ubuntu 14.04 de 32 bits, el firmware de la versión 3.5 le permite tener conectividad con el protocolo IPv6. Para instalar el firmware en el módulo se

utiliza la herramienta Intel Platform Flash Tool Lite [9] que se encuentra disponible de manera gratuita. Para el desarrollo de la aplicación se utilizó el código del proyecto Edi-cam [10] el cual fue modificado para el presente trabajo.

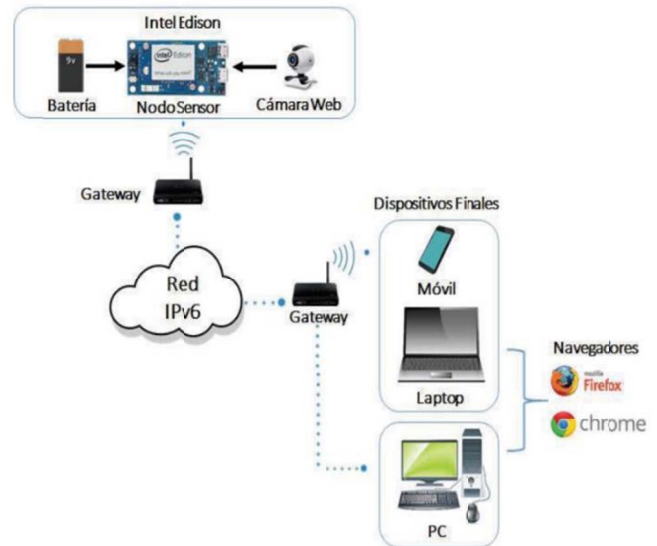


Fig. 2. Diagrama del prototipo.

El proyecto Edi-cam está dividido en diferentes bloques que inician con la ejecución de los scripts contenidos en el archivo node.js, el servidor HTML, el servidor WebSocket, el script de video y la página web. Se realizó modificaciones al código del proyecto Edi-cam con el fin de transmitir video sobre el protocolo IPv6. El nodo sensor implementado se presenta en la Fig. 3.

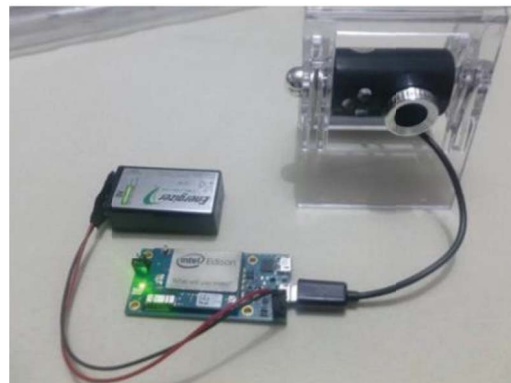


Fig. 3. Nodo sensor implementado.

En la Fig. 4 se presenta el diagrama de flujo del funcionamiento del sistema para la transmisión de video.

En el proceso para la captura video en el nodo sensor, se utiliza el script JSMpeg [11] y de la herramienta FFmpeg [12]. El proceso inicia con la captura de video de la cámara, por ejemplo, con un formato de 640x480, luego se codifica el video con la herramienta FFmpeg en MPEG1 con 30 cuadros por segundo y un flujo de datos de 800 kbit/s.

Posteriormente, el video codificado es procesado por el módulo Intel Edison y enviado al puerto especificado en el

servidor web a través del protocolo HTTP. En el servidor web, el flujo MPEG1 se distribuye a través de WebSockets a todos los navegadores conectados.

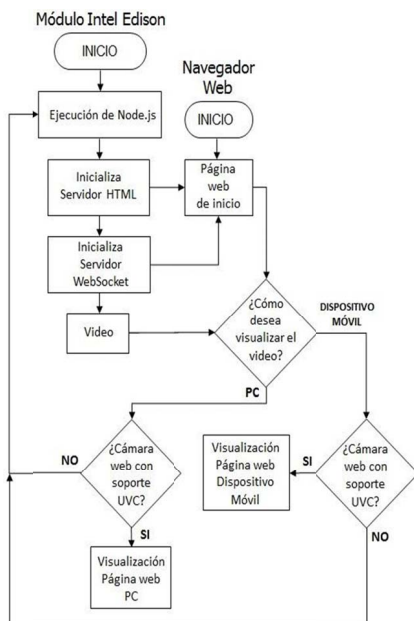


Fig. 4. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema.

Finalmente, el navegador, en el dispositivo de recepción, decodifica el flujo MPEG1 y transforma las imágenes decodificadas para implementar el video con la herramienta Canvas [13]. La relación entre los procesos en el nodo se indica en la Fig. 5.

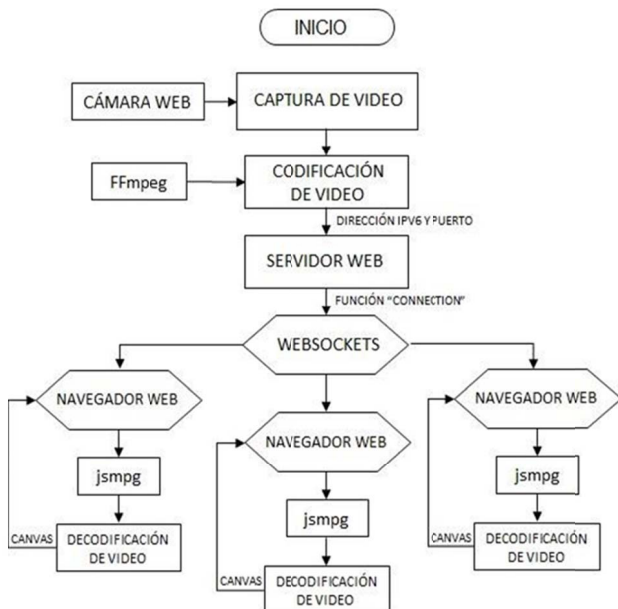


Fig. 5. Relación entre los procesos en la transmisión de video.

El código desarrollado para la visualización del video, considera las dimensiones de pantalla de una laptop y del dispositivo móvil. En la Fig. 6 se presenta la visualización del

video en un teléfono móvil.

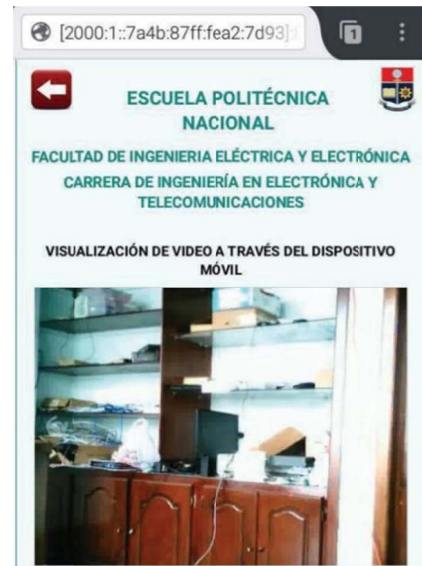


Fig. 6. Imagen del video recibido en el telefono celular.

III. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL TIEMPO DE OPERACIÓN

El conjunto de pruebas realizadas, tiene como objetivo demostrar el correcto funcionamiento de la aplicación y evaluar el tiempo de operación del nodo sensor, cuando el nodo transmite video por la red IPv6 hacia los dispositivos finales. La potencia P (W) consumida por el nodo, cuando transmite video en forma continua, se calcula mediante (1), para lo cual, es necesario tener como datos el voltaje V (V) aplicado al nodo y la corriente I (A) consumida por el nodo el momento que el nodo transmite video. Las mediciones fueron realizadas con un multímetro.

$$P = V \cdot I \quad (1)$$

El tiempo máximo de operación del nodo se lo obtiene al calcular el tiempo de descarga de la batería, mediante (2):

$$\text{tiempo de descarga} = \frac{\text{carga eléctrica de la batería}}{\text{consumo de corriente}} \quad (2)$$

La batería utilizada en las pruebas y que alimenta al nodo sensor, tiene una carga eléctrica de 175 mAh, valor con el cual se calcula su tiempo de operación cuando transmite video.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en diferentes escenarios para evaluar la potencia consumida y el tiempo de operación del nodo sensor.

A. Estado de reposo

El valor promedio medido de voltaje y corriente del nodo cuando está en estado de reposo, es de 8.72 V y 0.065mA, por lo que la potencia consumida es de 0.57 W. Se analizó y se verificó que esta potencia permanece aproximadamente constante durante la etapa de reposo. En teoría, el tiempo de descarga calculado de la batería es de 2.7 horas, sin embargo, en la práctica se comprobó que el tiempo en el cual el nodo sensor estuvo en operación en este estado fue de 2 horas.

B. Aplicación inicializada

Cuando el nodo ejecuta los procesos de la aplicación pero no se transmite video, el valor medido de voltaje y corriente es de 8.26 V y 0.165 mA respectivamente, valores que fueron constantes durante las pruebas realizadas. La potencia consumida calculada por el nodo en este escenario tiene un valor de 1.36 W. El tiempo de descarga calculado de la batería es de 66 minutos, sin embargo, en la práctica se comprobó que el tiempo en el cual el nodo estuvo en operación en esta condición es de aproximadamente 55 minutos.

C. Transmisión de video hacia la PC

Los valores obtenidos de voltaje y corriente del nodo sensor cuando el nodo transmite video de manera continua a una PC se presentan en la Tabla I. Las medidas en todos los escenarios propuestos, fueron realizadas con tiempos variables de operación del nodo, diferentes distancia entre el nodo sensor y el Gateway que conecta la red WiFi con la red Internet, y con una transmisión continua de video con diferentes tipos de resolución.

A partir de las mediciones realizadas, para el cálculo de la duración de la batería se consideró el valor promedio de 190mA para el consumo de corriente cuando se transmite video con una resolución de 320x240 y de 205mA para la resolución de 640x480. Con estos datos, el tiempo calculado de descarga total de la batería, es de 55 minutos para la resolución de 320x240 y de 51 minutos para la resolución de 640x480, sin embargo, en la práctica se comprobó que el tiempo en el cual el nodo sensor deja de funcionar es de aproximadamente 47 minutos para la resolución de 320x240 y de 42 minutos para la resolución de 640x480.

TABLA I
MEDIDAS DE CORRIENTE Y VOLTAJE (DESTINO PC)

Tiempo operación (min)	Resolución (px)	Distancia Gateway (m)	Voltaje (V)	Corriente (A)
1	320x240	2	8.45	0.190
		6	8.43	0.192
	640x480	2	8.19	0.209
		6	8.37	0.205
3	320x240	2	8.44	0.192
		6	8.39	0.194
	640x480	2	8.08	0.214
		6	8.25	0.211
5	320x240	2	8.43	0.193
		6	8.37	0.196
	640x480	2	7.97	0.218
		6	8.20	0.213

El consumo de energía en función de la resolución del video se presenta en la Tabla II.

TABLA II
CONSUMO DE ENERGÍA (DESTINO PC)

Resolución (px)	Distancia al nodo Gateway 1 (m)	Potencia promedio consumida (W)	Consumo de energía (kWh)
320x240	2	1.62	0.00162
	6	1.63	0.00163
640x480	2	1.73	0.00173
	6	1.74	0.00174

D. Transmisión de video hacia el computador portátil

Los valores medidos de voltaje y corriente en el nodo sensor cuando se transmite video a un computador portátil, se presentan en la Tabla III.

TABLA III
MEDIDAS DE CORRIENTE Y VOLTAJE (DESTINO LAPTOP)

Tiempo operación (min)	Resolución (px)	Distancia Gateway (m)	Voltaje (V)	Corriente (A)
1	320x240	2	8.47	0.192
		6	8.10	0.202
	640x480	2	8.42	0.206
		6	8.35	0.209
3	320x240	2	8.30	0.197
		6	8.05	0.206
	640x480	2	8.35	0.208
		6	8.21	0.215
5	320x240	2	8.15	0.202
		6	7.95	0.211
	640x480	2	8.20	0.213
		6	8.11	0.221

Para el cálculo de la duración de la batería se consideró el consumo de corriente medido de 192mA para la resolución de 320x240 y de 206mA para la resolución de 640x480. En teoría, el tiempo de descarga de la batería es de 54 minutos para la resolución de 320x240 y de 50 minutos para la resolución de 640x480, sin embargo, en la práctica se comprobó que el tiempo en el cual el nodo sensor transmite video de manera continua es de aproximadamente 45 minutos para la resolución de 320x240 y de 40 minutos para la resolución de 640x480. El consumo de energía se presenta en la Tabla IV.

TABLA IV
CONSUMO DE ENERGÍA (DESTINO LAPTOP)

Resolución (px)	Distancia al nodo Gateway 1 (m)	Potencia promedio consumida (W)	Consumo de energía (kWh)
320x240	2	1.64	0.00165
	6	1.66	0.00166
640x480	2	1.74	0.00174
	6	1.77	0.00177

E. Transmisión de video hacia el teléfono móvil

Los valores medidos de voltaje y corriente en el nodo cuando transmite a un teléfono móvil se presentan en la Tabla V.

El consumo de energía en función de la resolución del video y la distancia al Gateway se presente en la Tabla VI. Para el cálculo de la duración de la batería se consideró el consumo de corriente promedio de 195mA para la resolución de 320x240 y de 209mA para la resolución de 640x480.

El tiempo calculado de descarga de la batería, con los datos obtenidos de las mediciones, es de 53 minutos para la resolución de 320x240 y de 49 minutos para la resolución de 640x480, sin embargo, en la práctica se comprobó que el tiempo en el cual el nodo sensor deja de funcionar es de aproximadamente 45 minutos para la resolución de 320x240 y de 40 minutos para la resolución de 640x480.

TABLA V
MEDIDAS DE CORRIENTE Y VOLTAJE (DESTINO TELÉFONO MÓVIL)

Tiempo operación (min)	Resolución (px)	Distancia Gateway (m)	Voltaje (V)	Corriente (A)
1	320x240	2	8.35	0.195
		6	8.31	0.197
	640x480	2	8.30	0.209
		6	8.29	0.210
3	320x240	2	8.22	0.199
		6	8.21	0.202
	640x480	2	8.19	0.212
		6	8.15	0.217
5	320x240	2	8.11	0.204
		6	7.10	0.207
	640x480	2	8.05	0.219
		6	8.03	0.223

TABLA VI
CONSUMO DE ENERGÍA (DESTINO TELÉFONO MÓVIL)

Resolución (px)	Distancia al nodo Gateway 1 (m)	Potencia promedio consumida (W)	Consumo de energía (kWh)
320x240	2	1.64	0.00164
	6	1.66	0.00166
640x480	2	1.74	0.00173
	6	1.77	0.00177

IV. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que el consumo de energía del nodo sensor depende de la resolución del video transmitido, debido a que los procesos de codificación del video que debe realizar el nodo, requieren más tiempo y también porque se necesita transmitir más datos, lo que influye en el mayor tiempo de utilización de la etapa de radio frecuencia del nodo, que se caracteriza por su alto consumo de energía. Es por estas razones, que el nodo tiene un consumo adicional de energía del 6.19% cuando la resolución del video transmitido de 640x480.

Al considerar los tiempos medidos de operación del nodo, presentados en la Fig. 7, cuando se transmite video con el formato 320x240, el nodo opera en promedio un 12.29% más de tiempo en comparación al formato 640x480. Además, si se considera los tiempos calculados de operación del nodo presentados en la Fig. 8, cuando se transmite video con el formato 320x240, el nodo opera un 7.32% más de tiempo en comparación al formato 640x480

Tiempo de operación medido (min)

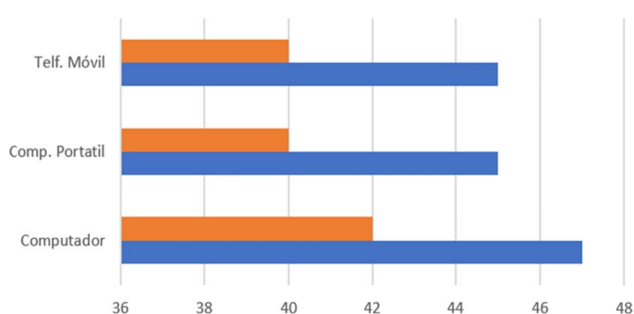


Fig. 7. Tiempo de operación medido.

Tiempo de operación calculado (min)

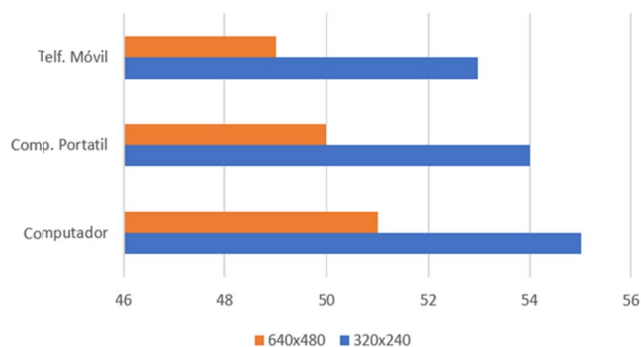


Fig. 8. Tiempo de operación calculado.

La razón de porque el nodo consume energía adicional para transmitir video con una resolución de 640x480, se debe a que el nodo debe procesar más información y tiene más datos que transmitir lo cual implica mayor consumo de energía.

Cuando se compara el tiempo promedio de operación del nodo, medido y calculado, obtenido de los tres escenarios, se concluye que, cuando se transmite una resolución de 320x240 la diferencia es del 17 % y cuando se transmite con una resolución de 640x480 esta diferencia es del 22 %. La razón de esta diferencia entre el valor medido de tiempo y el calculado, es porque cuando el nodo deja de funcionar, la batería todavía tiene energía almacenada que no proporciona ni el voltaje ni la corriente para que el nodo funcione.

El tiempo que el nodo transmite video continuo con una batería de 175mAh, y con una resolución de video de 320x240 es de 45.66 minutos, y con una resolución de 640x480 es de 40.66 minutos.

En estado de reposo, el nodo permanece operativo 2 horas, teóricamente se calculó 2.7 horas, es decir una diferencia del 26% cuando el nodo está operativo sin transmitir video, el tiempo en el cual, el nodo está operativo es de 55 minutos, el valor calculado es de 66 minutos, una diferencia del 16.6%. Nuevamente, la diferencia entre el valor calculado y real, se deben a que la batería aún tiene energía cuando el nodo deja de funcionar. De igual manera se puede apreciar, aunque es mínima la diferencia, que el nodo sensor consume más energía cuando el Gateway está más lejos.

V. CONCLUSIONES

El consumo de energía aumenta en promedio un 6.7% cuando el nodo transmite video de alta calidad, lo que implica una disminución promedio del 11% en el tiempo de operación del nodo. El tiempo de operación del nodo transmisor de video depende del tamaño y capacidad de la batería, lo que influye en el tamaño del nodo y su portabilidad. La diferencia promedio entre el tiempo de operación medido del nodo en comparación con el tiempo de operación calculado es del 20%. Las diferencias en los resultados, se debe a que, si bien, la batería todavía contiene energía, esta no es suficiente para que el nodo esté operativo. La investigación responde a la necesidad de tener nodos portables que permitan

la transmisión de video de buena calidad que opere con baterías por largos períodos de tiempo. A futuro se pretende evaluar el tiempo de operación de un nodo con menor capacidad de procesamiento, y determinar si la capacidad de procesamiento del nodo influye en su tiempo de operación.

RECONOCIMIENTOS

Los resultados presentados en este artículo, forman parte del proyecto interno PII-17-07 financiado por la Escuela Politécnica Nacional.

REFERENCIAS

- [1] T. Sanchez. "Informe de Rendición de cuentas 2018," EPN, Quito, Ecuador, 2018. [Online]. Available: https://www.epn.edu.ec/wp-content/uploads/2019/02/gesti%C3%B3n_2018_final.pdf
- [2] Internet Society, "State of ipv6 Deployment," Jun. 6, 2018. [Online]. Available: <https://www.internetsociety.org/wp-content/uploads/2018/06/2018-ISOC-Report-IPv6-Deployment.pdf>
- [3] L. M. Dang , J. Piran, D. Han, K. Min and H.Moon, "A Survey on Internet of Things and Cloud Computing for Healthcare," *Electronics*, vol 8. pp. 1-49 jul. 2019.
- [4] H. Nguyen, A. Förster, D. Puccinelli and S. Giordano, "Sensor node lifetime: An experimental study," 2011, in *the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PERCOM Workshops)*, Seattle, WA, 2011, pp. 202-207.
- [5] V. Gupta and Jayaraghavendran, "Invited Talk: IoT Protocols War and the Way Forward," in *the 28th International Conference on VLSI Design*, Bangalore, 2015, pp. 28-28.
- [6] M. Hachman, "PcWorld," Enero, 2014. [Online]. Available: <http://www.pcworld.com/article/2085003/intel-ceo-points-toward-wearable-future-with-smart-earbud-smartwatch.html>
- [7] Software Intel, [Online]. Available: <https://software.intel.com/en-us/iot/hardware/edison>.
- [8] Intel® Edison Breakout Board, [Online]. Available: http://mu.elecfans.net/201611/Intel-04-disonbreakout_hg_331190006.pdf.
- [9] Intel® Edison Breakout Board, [Online]. Available: <https://01.org/node/2463>
- [10] E. Kim, GitHub, [Online]. Available en: <https://github.com/drejkim/edimcam>
- [11] Mit.LicenseJSMpeg, [Online]. Available: <https://github.com/phoboslab/jsmpeg>
- [12] FFmpeg, [Online]. Available: <https://www.ffmpeg.org/download.html>
- [13] HTML5Canvas, [Online]. Available: https://www.w3schools.com/html/html5_canvas.asp