

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:
INGENIERÍA DE SISTEMAS

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
Ingeniera e Ingeniero de sistemas

TEMA:
ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE SISTEMAS EMBEBIDOS
AVANZADOS ENTRE WIFI Y BLE PARA EL ENVIÓ DE DATOS HACIA PLATAFORMAS
EN LA NUBE

AUTORES:
LIZETH ALEXANDRA PARRA ARCOS
KEVIN BLADIMIR ZAPATA ORTIZ

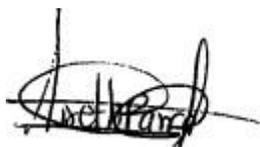
TUTOR:
MANUEL RAFAEL JAYA DUCHE

Quito, agosto del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros Lizeth Alexandra Parra Arcos, Kevin Bladimir Zapata Ortiz con documento de identificación N° 1723176747 y N° 1724020191, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos los autores del trabajo de titulación intitulado ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE SISTEMAS EMBEBIDOS AVANZADOS ENTRE WIFI Y BLE PARA EL ENVIÓ DE DATOS HACIA PLATAFORMAS EN LA NUBE, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIEROS DE SISTEMAS, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultad para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana



.....
Lizeth Alexandra Parra Arcos

1723176747



.....
Kevin Bladimir Zapata Ortiz

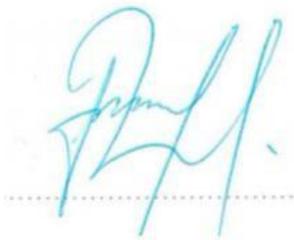
172402019

Quito, agosto del 2021

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el artículo académico, con el tema: ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE SISTEMAS EMBEBIDOS AVANZADOS ENTRE WIFI Y BLE PARA EL ENVIÓ DE DATOS HACIA PLATAFORMAS EN LA NUBE, realizado por Lizeth Alexandra Parra Arcos y Kevin Bladimir Zapata Ortiz, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, agosto 2021



Manuel Rafael Jaya Duche
C.I: 1710631035

DEDICATORIA

Como quisiera que esa persona que fue parte importante de mi vida, estuviera conmigo y viera los logros que eh alcanzado, pero con toda seguridad sé que desde el cielo estarás orgulloso de ver mi triunfo por ello el presente trabajo investigativo lo dedico, a la memoria de mi abuelito Segundo Manuel Parra quien fue más que un padre una inspiración y un ejemplo para continuar y alcanzar mis metas.

A mi madre Yolanda, quien, con su amor, dedicación y sacrificio, he logrado llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Me siento muy orgullosa de ti madre.

A mi abuelita Carmen quien siempre tuvo una palabra de aliento para fortalecerme cuando me sentía que no podía continuar.

Mi más sincero agradecimiento

Lizeth Alexandra Parra Arcos

Dedico este trabajo investigativo principalmente a Dios por cada una de sus bendiciones a lo largo de la carrera y de todo corazón a la memoria de mi padre Danilo que ha sido el mejor ejemplo a seguir por su responsabilidad y no darse por vencido, a mi Madre Gladys que ha sido un apoyo incondicional, a mis hermanos por soportar el mal carácter en aquellos días de estrés y tras noches.

A todas las personas que han apoyado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que abrieron sus puertas y compartieron sus conocimientos.

No ha sido fácil el proceso, con resbalones y caídas, pero lo logré a pesar de toda adversidad. SIEMPRE AL LIMITE.

Kevin Bladimir Zapata Ortiz

ANÁLISIS COMPARATIVO DEL CONSUMO DE ENERGÍA DE SISTEMAS EMBEBIDOS AVANZADOS ENTRE WIFI Y BLE PARA EL ENVIÓ DE DATOS HACIA PLATAFORMAS EN LA NUBE

Comparative analysis of the energy consumption of advanced embedded systems between WIFI and BLE to send data to cloud platforms

Lizeth Alexandra Parra Arcos ¹, Kevin Bladimir Zapata Ortiz ², Manuel Rafael Jaya Duche³

Resumen

El presente artículo académico se basa en el análisis y comparación del consumo de energía de sistemas embebidos avanzados haciendo uso de módulos wifi y bluetooth que están conectados a las plataformas IoT. El objetivo de realizar el análisis, es definir el módulo que consume menos energía. Se implementó diferentes escenarios experimentales (WIFI y BLE), donde se realizó la medición mediante el método invasivo de la resistencia shunt, aplicada en la entrada de corriente de cada módulo. De los resultados obtenidos, se observó que el dispositivo con mayor consumo de energía en la transmisión de datos es el ESP32 con un 89% con respecto al módulo BLE que es mejor en cuanto ahorro de energía se trata. El bluetooth HC-05 es el segundo dispositivo con mayor consumo seguido del ESP8266, por consiguiente, es el HC-06 que consume el doble de energía que el BLE (3 mW), en condición de transmisión de datos a la nube despreciando el consumo del módulo. Dando como resultado que el dispositivo con menor consumo de energía es el BLE gracias a sus protocolos que solo recogen y envían información mas no la procesan.

Palabra clave: Consumo de energía, sistemas embebidos IoT, plataformas IoT, WIFI, BLE.

Abstract

This academic article is based on the analysis and comparison of the energy consumption of advanced embedded systems using Wi-Fi and Bluetooth modules that are connected to IoT platforms. The objective of the analysis is to define the module that consumes the least energy. Different experimental scenarios (WIFI and BLE) were implemented, where the measurement was carried out using the invasive method of the shunt resistance, applied to the current input of each module. From the results obtained, it was observed that the device with the highest energy consumption in data transmission is the ESP32 with 89% compared to the BLE module, which is better in terms of energy saving. The bluetooth HC-05 is the second device with the highest consumption followed by the ESP8266, therefore, it is the HC-06 that consumes twice as much energy as the BLE (3 mW), in a condition of data transmission to the cloud, neglecting the consumption of the module. Resulting in that the device with the lowest energy consumption is the BLE thanks to its protocols that only collect and send information but do not process it.

Keywrods: Power consumption, embedded IoT systems, IoT platforms, WIFI, BLE.

¹Estudiante de Ingeniería de sistemas - Universidad Politécnica Salesiana, Egresado - UPS - sede Quito. Autor para correspondencia: lparraa@est.ups.edu.ec

²Estudiante de Ingeniería de sistemas - Universidad Politécnica Salesiana, Egresado - UPS - sede Quito. Autor para correspondencia:

kzapatao@est.ups.edu.ec

³Magister en redes de la información y conectividad, ingeniero en electrónica y telecomunicaciones, profesor de Ingeniería en Sistemas -UPS – sede Quito Email: mjaya@ups.edu.ec

1. Introducción

En los últimos 10 años, el avance tecnológico ha dado pasos gigantescos permitiendo así el nacimiento de la IoT (Internet de las cosas) [1], esta se ha vuelto cada vez más popular, tomando un papel trascendental en la actividad humana, este progreso en tecnología permite contar en la actualidad con 54 millones de dispositivos conectados a internet como son vehículos, edificios, Smartphone y otros elementos integrados, software y sensores que permiten la comunicación y realizan la recopilación de información e intercambio de datos para su posterior análisis sin importar el tiempo o el lugar, esto genera una gran magnitud de datos, según [1] habla, sobre la situación actual de la conectividad y el consumo de energía en dispositivos IOT que con el pasar de tiempo se torna preocupante la sostenibilidad de los mismos en futuras generaciones, por tanto, es importante tener en cuenta los problemas con la escalabilidad, adaptabilidad y el consumo de energía que conllevan estas tecnologías ya que estos sistemas, con su inteligencia computacional compuesto de hardware y software, logran realizar tareas específicas en tiempo real que van aumentando la inteligencia de los dispositivos y con ello los recursos consumidos afectando a la población, debido a esta problemática se consideró oportuno realizar la investigación con los dispositivos IOT de bajo consumo para definir el dispositivo óptimo en cuanto a consumo energético mientras trasmite los datos a las diferentes plataformas.

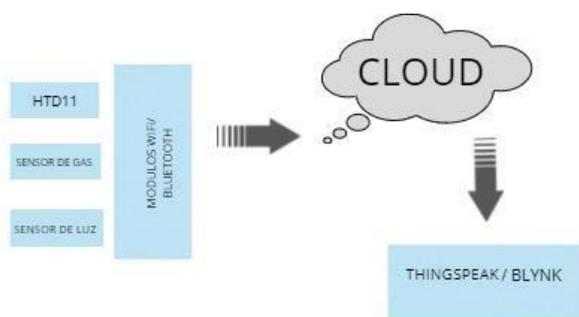


Figura 1. Estructura de la transmisión de datos a la nube

Según [2] afirman que estudios realizados entre dispositivos eléctricos conectados IoT consumen más de 30% de la energía total, los dispositivos en reposo también consumen energía, a esta se la llama energía fantasma. Los índices apuntan que se llegará a consumir dos veces más si no se toma las medidas adecuadas para mitigar el consumo excesivo de energía, para solventar esta problemática la comisión mundial de energía decretó que los dispositivos que sean fabricados deben cumplir con los estándares y especificaciones de eficiencia energética de nivel VI para las fuentes de alimentación externa, las cuales ofrecen también cuidado del medio ambiente.

Según [3] [4] dice que la tecnología IoT con los Gateway permite realizar muestreo por evento o muestreo aperiódico los cuales consumen energía. Con esto nace un problema referente a cuánta energía consumirán los dispositivos WIFI, BLE y el impacto que va a ocasionar en la transmisión y recepción de datos cuando exista conectividad a la nube.

El análisis del consumo de energía en los dispositivos Gateway que se va a realizar tiene en cuenta las mediciones que se tomarán mediante muestras obtenidas de los experimentos realizados con dichos dispositivos para continuar con su respectiva comparación de la cantidad de energía consumida en cada muestra y a su vez plantear diferentes escenarios.

Según [5] habla, sobre las redes inalámbricas afirmando son parte integral y esencial de los sistemas embebidos IoT, pero las redes inalámbricas son, de hecho, una comunicación inalámbrica que consume más energía que la comunicación por cable, o simplemente una red utilizada para los sistemas de IoT que están diseñados para otros fines, como comunicaciones multimedia y móviles, por tanto, la energía disponible hay que utilizarla de manera eficiente, además que, la conservación de energía es uno de los temas clave en las redes de sensores.

Muchos enfoques han sido desarrollados por investigadores para conservar la energía de los nodos.

Las redes inalámbricas orientadas al IoT trabajan en una misma frecuencia (2.4 GHz), por tanto, los dispositivos electrónicos estarán operando bajo un entorno de gran cantidad de interferencias por este motivo se va a estudiar cada uno de los dispositivos para ver si la cantidad de energía que consumen afecta al desempeño de los mismos.

Según [6] predice, el crecimiento exponencial de IoT en el transcurso de los próximos años, obligará a los fabricantes a producir mejoras en las tecnologías de los sensores, uno de los factores preocupantes es cuánta energía van a consumir ya que mientras más capacidad tenga el sensores mayor es su consumo, varios fabricantes están diseñando sensores que consuman energía solo durante su actividad mas no cuando estén en modo reposo ya que están trabajando en la segmentación para que consuma un determinado nivel de potencia durante el periodo de cada actividad.

La revista Business Insider Intelligence habla sobre la expansión a gran escala que tendrán los dispositivos IOT en un futuro, posicionando a Estados Unidos y China como los líderes mundiales en fabricación y distribución de dispositivos IOT así como también los mayores consumidores de energía sin dejar atrás a Japón y Alemania entre otros países que están compitiendo por llegar a ser líderes, aprovechando los avances en el cálculo de potencia, la miniaturización de los componentes IOT, conectividad cada día más accesible. Según [7][8] los científicos están realizando investigaciones para maximizar la eficiencia de la energía elaborando métodos a través de Energy plus en el cual se puede monitorear y controlar los factores que están involucrados en el consumo de energía, utilizando herramientas avanzadas de análisis y recolección de datos.

Según [9] habla sobre la importancia de la compatibilidad entre el desarrollo de los dispositivos IOT y el consumo de energía, ya que los dos son puntos claves para la economía y bienestar de los seres humanos por lo tanto esta investigación busca analizar la importancia del

uso de dispositivos de bajo consumo para llegar al mayor aprovechamiento de la energía en transmisiones de todo tipo de datos.

Según [10] existen varios métodos para la medición de corriente como son los métodos invasivos en el cual se necesita introducir en el circuito para realizar la medición respectiva en esta investigación tomamos el método invasivo de la resistencia shunt y no invasivos se necesita utilizar un transformador que trabaja por un inductor ya que mide el campo magnético generado por la corriente eléctrica.

2. Materiales y Métodos

2.1. Materiales

2.1.1. Módulos

- Módulo ESP32
- Módulo ESP8266
- BLE
- HC05
- HC06

2.1.2. Materiales complementarios

- Arduino UNO
- Sensores
- PC
- Osciloscopio
- Voltímetro
- Protoboard
- Resistencias

2.2. Metodología para la medición del consumo de energía en SE

Para realizar la presente investigación se crearon cinco escenarios con las mismas condiciones para cada uno, es decir, dos escenarios con módulos wifi y tres con módulos bluetooth que envían los datos receptados por los sensores. A continuación, se procede a implementar los prototipos para luego configurar los módulos y logren cumplir su objetivo que puedan conectarse a las plataformas IoT.

Cada módulo está conectado al Arduino por medio del cable USB para realizar la respectiva programación utilizando las librerías adecuadas para cada módulo, así como la velocidad de

comunicación serial se estableció 9600 baudios por segundo, para ver la comunicación en milisegundos.

$$V_c = \frac{9600}{1000} = 9.6 \Rightarrow 10 \text{ bits/ms} \quad (1)$$

Por lo tanto, la velocidad de comunicación en la cual se envía los datos es a 10 bit por milisegundo, entonces cada vez que todos los sensores envíen datos hacia la plataforma, serán en total 96 bits por ms.

Los protocolos utilizados para la transmisión de datos son MQTT debido su eficiencia y optimización en el consumo de energía, al momento de transmitir datos lo realiza a nivel de byte



Figura 2. Escenario módulos ESP32

En la figura 2. se observa el prototipo armado para el módulo ESP32, cuenta con un voltaje de alimentación directa del puerto micro-USB y una fuente externa de 5v o 3.3v. Este módulo trabaja en una frecuencia máxima de 240 Mhz y realiza operaciones en modo de ultra bajo consumo [11], [12].

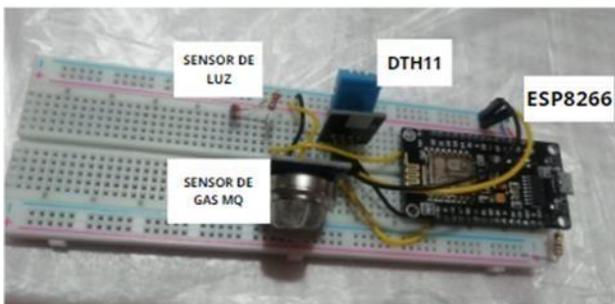


Figura 3. Escenario módulos ESP8266

En la figura 3, se puede observar el prototipo del módulo ESP8266 que trabaja con un voltaje de 5v o 3.3v, la conexión se realiza mediante wifi permitiendo conectar a cualquier red, y es capaz de elevar el rendimiento hasta 160 MHz. Además, trabaja en modo de ultra bajo consumo [13].

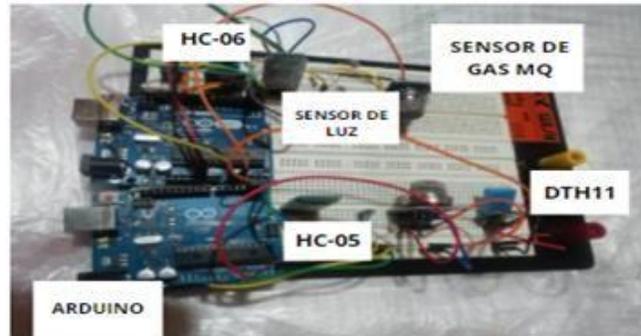


Figura 4. Escenario módulos HC-05 y HC-06

En la figura 4, se puede observar los prototipos de los módulos HC-05 y HC-06, se realizó en el mismo protoboard ya que su configuración y conexión son similares, estos módulos cuentan con pines TxD y RxD que permiten comunicaciones inalámbricas a una distancia promedia de 10 metros. Este módulo está conectado a un Arduino y para su configuración se requiere de un PC [13].

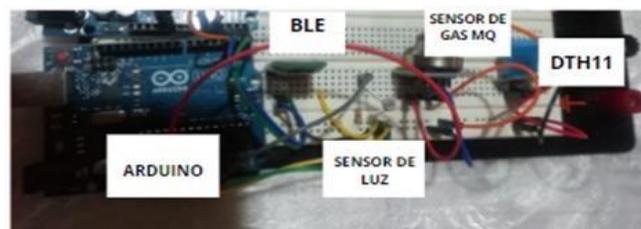


Figura 5. Escenario módulos BLE

2.2.1. Escenario experimental módulos Wifi

En este apartado, se describe la implementación y la configuración de los sistemas embebidos IoT con módulos WIFI con varios sensores para observar el rendimiento del consumo de energía cuando existe transmisión de datos a las plataformas en la nube, así como cuando los

módulos se encuentran sin sensores. Por tanto, se emplearon módulos WIFI, los cuales integran placas que fueron conectadas al PC para su respectiva configuración en Arduino [15], esta detecta los distintos sensores para lograr conectarse al AP y posteriormente enviar los datos recibidos por los mismos a la plataforma ThingSpeak para visualizar la información mediante una escala de valores. A fin de lograr la medición del consumo de potencia en estos módulos se empleará el método de la resistencia shunt para medir corriente DC [15]. En la figura 2, se observa el escenario elaborado con ESP32.



Figura 6. Escenario ESP32

En la figura 3, se observa el escenario elaborado con ESP8266



Figura 7. Escenario ESP8266

En la figura 2 y 3 se puede notar los escenarios de los sistemas embebidos WIFI, cada uno posee su respectivo módulo para la comunicación con el AP [10]. Para las pruebas se utilizaron dos módulos diferentes como es el ESP32 y el ESP8266 más conocido como node MCU, en estos dispositivos se insertaron los sensores como el DHT11, de luz y de gas para cada módulo [16]. Se realizaron las mediciones en la alimentación de cada módulo aplicando el método invasivo de resistencia shunt ($R = 1 \text{ ohm}$), con la ayuda del osciloscopio y un voltímetro con tierra flotante como se muestra en la figura 8. Se logra medir de manera directa en la resistencia, la ley de ohm por

el voltaje obteniendo que ($I = V$), por ello, se consiguió directamente la señal de corriente consumida en los módulos WIFI, donde:

$$P_{\text{Wifi}} = P_{\text{total}}_{\text{media}} - P_{\text{in}}_{\text{ic sin sensores}} \quad (2)$$

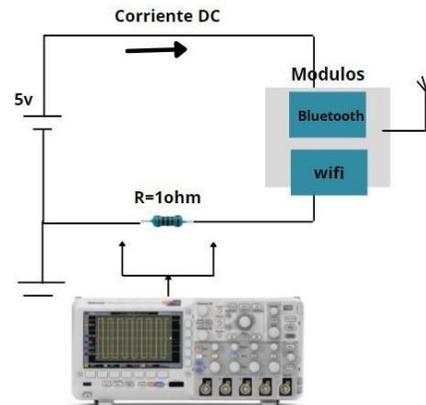


Figura 8. Diagrama de medición de corriente

2.2.2. Escenario experimental módulos Bluetooth

Para el diseño y la configuración de los escenarios de Gateway con módulos bluetooth y su respectiva medición de consumo de energía al transmitir datos de sus sensores a la plataforma blynk, igual que al no estar conectados los sensores [17]. Estos dispositivos se encuentran conectados directamente a la placa del Arduino y esta placa está lista para emparejar con el PC vía cable USB tipo B, para cargar la codificación. Se establece conectividad con un dispositivo bluetooth que contenga la APP y realizar las lecturas de los sensores [13]. Para realizar las respectivas mediciones se utilizó el método de resistencia shunt para medir la corriente DC, y así obtener su forma de onda.

En la figura 5, se observa el escenario experimental con HC-05

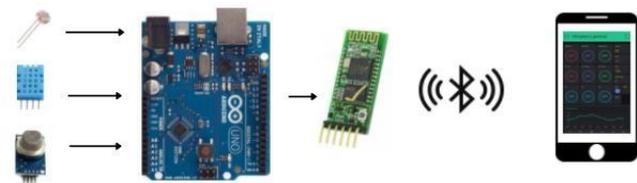


Figura 9. Escenario HC-05

En la figura 9, se observa el escenario experimental con HC-0

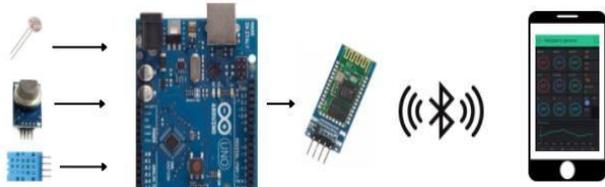


Figura 10. Escenario HC-06

En la figura 10, se observa el escenario experimental con BLE

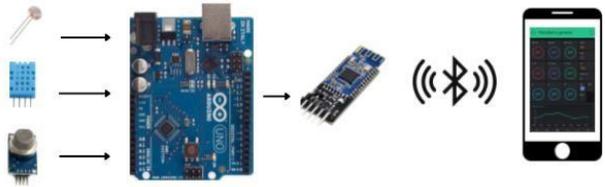


Figura 11. Escenario BLE

Como se puede observar en las figuras 9, 10 y 11 los escenarios de los módulos inalámbricos Bluetooth, cada escenario tiene un módulo diferente como el HC-05, HC-06 y BLE conectados a una placa Arduino uno, adicional se encuentran conectados a esta placa los mismos sensores, así como el método de medición de corriente que se menciona en el en la sección 2.2. 1. [14]. Para medir del consumo de energía se utilizó el mismo método de la resistencia shunt de los módulos Wifi, por ello, se consiguió directamente la señal de corriente consumida en los módulos Bluetooth, donde:

$$P_{Bth} = P_{total_{media}} - P_{inicial_{sin\ sensores}} \quad (3)$$

2.2.3. Desarrollo de mediciones

Una vez estructurado los escenarios de experimentación, se da paso a las respectivas mediciones de corriente las cuales proporcionan datos exactos del consumo de energía y el porcentaje respectivo entre cada dispositivo. Para ello se cuenta con tres fases [18].

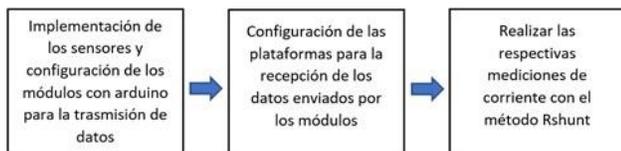


Figura 12. Proceso para la medición de corriente

En la figura 12, se observa el suceso de las fases necesarias para llegar a las diferentes medidas de corriente consumida en cada escenario, es decir, lo primero es la implementación de los sensores, seguido de la configuración de los módulos con Arduino para la transmisión de datos numéricos que serán de tipo int dato entero, float dato decimal los cuales fueron programados en el Arduino previamente, siguiente es la configuración de las plataformas para la recepción de datos que fueron enviados por los sensores a través de los diferentes módulos dependiendo el escenario, finalmente, se realiza las respectivas mediciones utilizando el método de la resistencia shunt, almacenando estos valores en una tabla [19].

2.2.4. Cálculo de la potencia consumida

Para realizar las mediciones de forma correcta del consumo de corriente media se debe medir en función del tiempo, para ello se utilizó una sonda de voltaje y con ayuda del osciloscopio se midió a través de la resistencia de precisión de 1 [ohm] en paralelo a la fuente de alimentación V_{in} y GND del dispositivo.

A continuación, se procede a realizar las mediciones de la corriente consumida en el circuito con los dispositivos conectados, se utilizó el osciloscopio el cual usa un algoritmo que se basa en la fórmula (3) para el cálculo de señales no homogéneas [20].

$$P_{medio} = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) \cdot dt \quad (4)$$

Cabe recalcar que el valor del voltaje de entrada es de 4,98 [V] para cada uno de los escenarios y resta por determinar la potencia consumida (corriente continua) en cada escenario.

Después de medir la corriente consumida por los diferentes módulos en base a las mediciones anteriores se utiliza la siguiente fórmula donde [V] es el voltaje proporcionado por la fuente externa por [I] que es la intensidad de corriente (4), este

dato fue proporcionado por el osciloscopio, se obtiene como resultado la potencia [21].

$$P = V * I \quad (5)$$

2.2.5. Pruebas y mediciones de corriente

Una vez ya configurado los sensores con los módulos, se verifica la conectividad en las plataformas respectivas, observando que se han transmitido los datos numérico enviados por los sensores como se puede observar en los dashboards de las figuras 13 y 14.



Figura 13. Plataforma Blynk

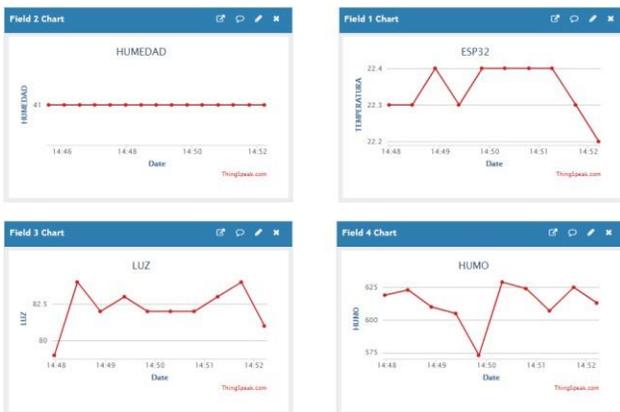


Figura 14. Plataforma ThingSpeak

En la tabla 1, se evidencia las corrientes y potencias consumidas de los módulos Wifi en [mA] y [mW] respectivamente. En el estado uno representa al módulo sin transmitir datos, en el segundo estado es el módulo transmitiendo datos y en el estado tres se puede notar el consumo de

corriente sin tomar en cuenta al módulo. El osciloscopio brinda la forma de onda además del voltaje consumido por cada escenario wifi, como se puede observar en la figura 15 y 16.

Tabla 1. Valores de corriente y potencia de módulos Wifi

ESTADO	CORRIENTE [mA]		POTENCIA [mW]	
	ESP32	ESP8266	ESP32	ESP8266
1	31,5	19	156,87	94,62
2	60	30	298,8	149,4
3	29	11	142	55

En la figura 15, se puede observar la señal del módulo ESP32 que genera el osciloscopio además se visualiza los picos cuando el dispositivo transmite datos.

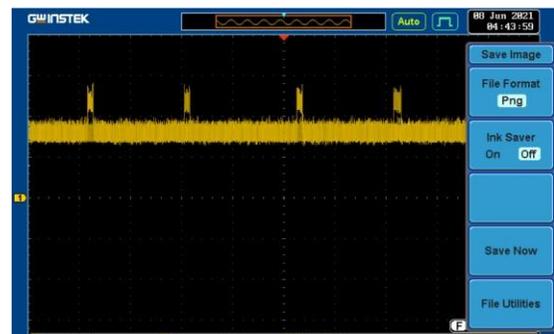


Figura 15. Forma de onda de ESP32 transmitiendo datos

En la figura 16, se observa la forma de onda del módulo ESP8266, tiene picos según va transmitiendo los datos en un periodo de tiempo es similar a la forma de onda del ESP32 ya que este módulo es el sucesor del ESP8266.



Figura 16. Forma de onda ESP8266 transmitiendo datos

En la tabla 2, se puede observar las mediciones de las corrientes y potencias de los módulos Bluetooth en [mA] y [mW] respectivamente. Igual que el módulo anterior, se tiene los mismos tres estados. El primero sin transmitir datos, el segundo transmitiendo los datos y el tercero es el consumo de corriente sin tomar en cuenta el módulo. Con ayuda del osciloscopio se obtuvo las formas de ondas de cada módulo que se muestran en las figuras 17, 18 y 19.

Tabla 2. Valores de corriente y potencia de los módulos

ESTADO	CORRIENTE [mA]			POTENCIA [mW]		
	HC-05	HC-06	BLE	HC-05	HC-06	BLE
1	42	30	19	209,16	149,4	94,62
2	55	36	22	273,9	179,28	109,56
3	13	6	3	64,74	29,88	14,94

Se observa en la figura 17 la forma de onda del módulo HC-05, tiene unas pulsaciones pequeñas en el intervalo de tiempo cuando recibe y envía los datos.



Figura 17. Forma de onda de HC-05 transmitiendo datos

En la figura 18, se aprecia cómo varía la señal cuando el módulo HC-06 transmite los datos, elevando los picos de intervalos de tiempo.



Figura 18. Forma de onda de HC-06 transmitiendo datos

En la figura 19, se observa que la señal del módulo BLE se mantiene constante en cualquiera de sus fases.

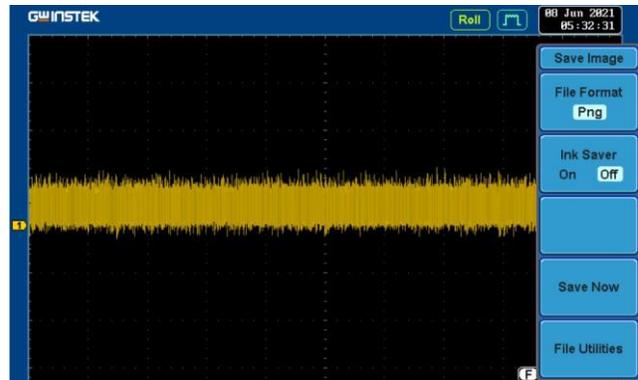


Figura 19. Forma de onda de BE transmitiendo datos

3. Resultados y discusiones

En base a las pruebas y mediciones realizadas se generó las tablas mencionadas en el apartado anterior las cuales reflejan los datos obtenidos del cálculo de la corriente [mA] y el cálculo de potencia [mW] tomando en cuenta los estados de cada dispositivo, primer estado, sin transmisión de datos y el segundo estado es cuando transmite datos, finalmente el tercer estado cuando transmite datos despreciando el consumo del módulo. Se procedió a realizar las gráficas estadísticas del consumo de potencia de los dispositivos WIFI y BLE, además realizar la comparación para definir que dispositivo es el que consume menor cantidad de energía. Dando como resultado que el dispositivo BLE consume menos energía de todos los módulos utilizados en la experimentación, se aprecia los resultados a continuación:

En las gráficas las tablas estadísticas sobre el consumo de potencia de los dispositivos tanto WIFI como BLE para definir el consumo de cada uno.

3.1. Módulos Wifi

Tabla 3. Consumo de energía ESP32 y ESP 8266

ESTADO	ESP32 Y ESP8266
Sin transmitir datos	40%
Transmitiendo datos	61%

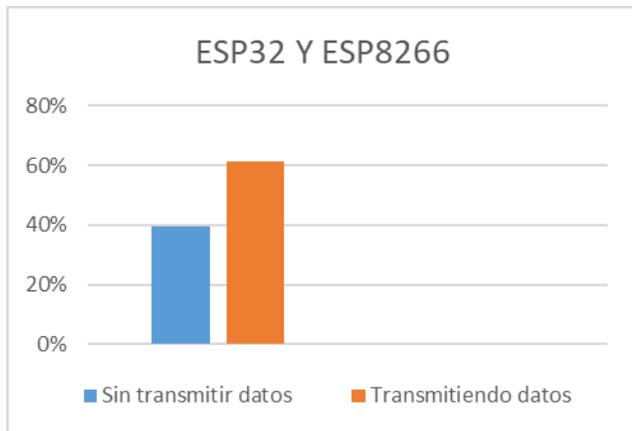


Figura 20. Porcentaje de consumo de corriente entre ESP32 y ESP8266

El ESP32 tiene un porcentaje del 40% mayor de consumo de potencia sobre el ESP8266 sin transmisión de datos, mientras que el ESP32 tiene un porcentaje de 61% mayor consumo de potencia sobre el ESP8266 al transmitir datos hacia la nube.

3.2. Módulos Bluetooth

ESTADO	HC-05 Y HC-06
Sin transmitir datos	29%
Transmitiendo datos	54%

Tabla 4. Consumo de energía HC-05 y HC-06

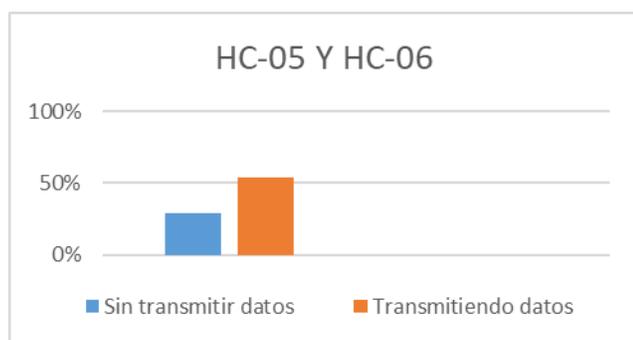


Figura 21. Porcentaje de consumo de corriente entre HC-05 y HC-06

El HC-05 tiene un porcentaje del 29% mayor de consumo de potencia sobre el HC-06 sin transmisión de datos, mientras que el HC-05 tiene un porcentaje de 54% mayor consumo de potencia sobre el HC-06 al transmitir datos hacia la nube.

ESTADO	HC-05 Y BLE
Sin transmitir datos	55%
Transmitiendo datos	77%

Tabla 5. Consumo de energía HC-05 y BLE

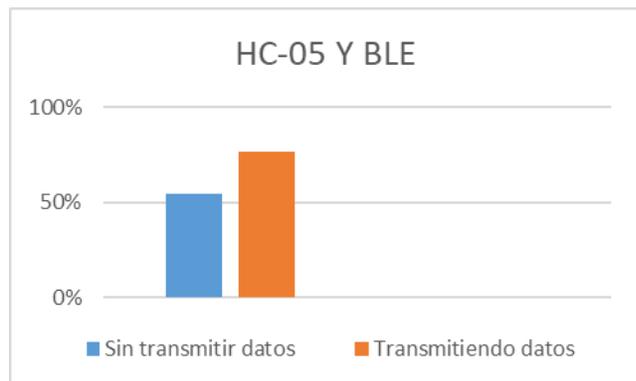


Figura 22. Porcentaje de consumo de corriente entre HC-05 y BLE

El HC-05 tiene un porcentaje del 55% mayor de consumo de potencia sobre el BLE sin transmisión de datos, mientras que el HC-05 tiene un porcentaje de 77% mayor consumo de potencia sobre el BLE al transmitir datos hacia la nube.

ESTADO	HC-06 Y BLE
Sin transmitir datos	37%
Transmitiendo datos	50%

Tabla 6. Consumo de energía HC-05 y BLE

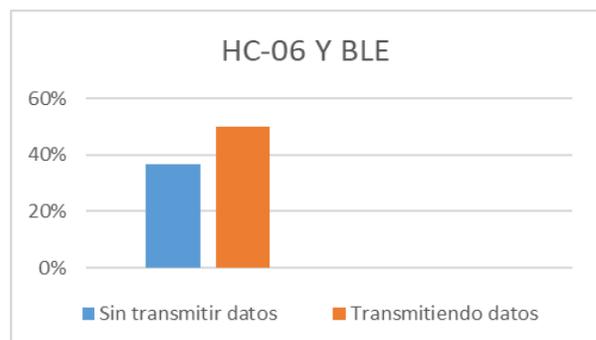


Figura 23. Porcentaje de consumo de corriente entre HC-06 y BLE

El HC-06 tiene un porcentaje del 37% mayor de consumo de potencia sobre el BLE sin transmisión de datos, mientras que el HC-06 tiene un porcentaje de 50% mayor consumo de potencia sobre el BLE al transmitir datos hacia la nube.

Tabla 7. Consumo de energía ESP32 y BLE

ESTADO	ESP32 Y BLE
Sin transmitir datos	40%
Transmitiendo datos	89%

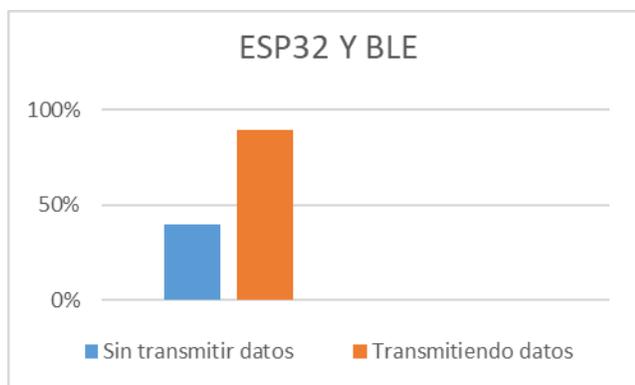


Figura 24. Porcentaje de consumo de corriente entre el ESP 32 y BLE

El ESP32 es un dispositivo diseñado para servir de vía para la conectividad ya que incluye una memoria, un microprocesador, tiene dos núcleos y conmutadores de antena, dando un porcentaje del 40% mayor de consumo de potencia sobre el BLE sin transmisión de datos, mientras que cuando transmite datos a la nube, aumenta el consumo de energía en un 89%. Por tanto, el dispositivo con menor cantidad de consumo es el BLE, esto se debe a la tecnología que cada uno tiene implementado es diferente. El BLE consume menos energía gracias al diseño de los protocolos como es el ATT (attribute protocol) en el que están organizados los datos de acuerdo a los atributos por medio de UUID, todos los dispositivos son cliente servidor o pueden ser los dos sin restricción, otro de los protocolos es el GAP que define la forma de establecer conexión con los otros dispositivos. Además, BLE tiene mejor rendimiento y menor consumo de energía esto se

debe a que el módulo funciona en modo esclavo, minimizando el consumo de energía, el dispositivo maestro que es el que más consume energía. Es decir, el protocolo BLE fue diseñado para permanecer en un estado de suspensión la mayor parte del tiempo y solo se activa para transmitir datos o para mantener una conexión [22]. Durante el estado de suspensión, los dispositivos generalmente consumirán pocos [A] ya que la MCU y los periféricos, incluido en el BLE, están apagados. Sin embargo, cuando un dispositivo se activa, el pico de corriente se incrementa, esto se debe porque realiza operaciones de Rx y Tx, normalmente consumirá más de 10 [mA] en unos pocos microsegundos. Este pico de corriente se conoce como pulso de alta corriente (HCP) [23].

Al comparar los resultados que proporcionan las gráficas estadísticas de cada escenario se aprecia que el módulo ESP8266 consume menos energía que el ESP32 en un 53% esto se debe a que el módulo posee un microchip WIFI de bajo consumo que contiene como CPU al procesador Tensilica LX106 de 32-bit RISC, a 80MHz; con 64 KB de memoria de instrucciones y 96KB de datos, tiene características inferiores al ESP32, por tanto, consume menos energía.

En la figura 25, se puede observar el consumo de potencia de cada uno de los módulos evidenciados en este artículo.

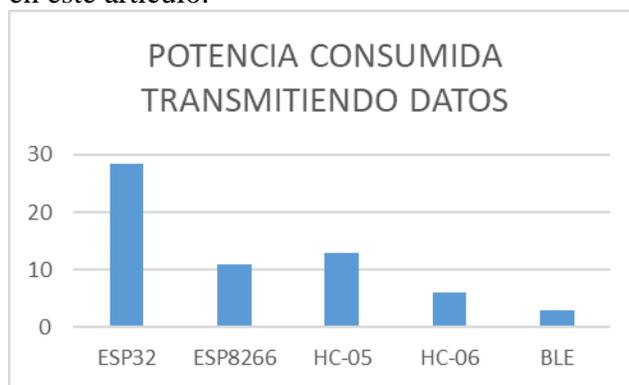


Figura 25. Consumo de corriente entre los módulos

Se puede evidenciar en la figura 25 que el módulo BLE es el mejor en cuanto al consumo de energía en comparación con los diferentes módulos utilizados en los escenarios de experimentación, se logra comprobar el ultra ahorro de energía.

4. Conclusiones

El aporte de este trabajo es el análisis de resultados obtenidos del consumo de potencia en varios escenarios con diferentes módulos cuando se transmite información a la nube. Con los datos obtenidos, se observa que el dispositivo BLE es más eficiente con un 89% de ahorro energético debido a su protocolo Generic Attribute Profile (GATT) que solo recoge información y la envía. Este protocolo entra en funcionamiento una vez que se establece conexión. Por esta razón el dispositivo se ha convertido en un elemento clave para la IoT. El ESP32 por el contrario consume más energía (89%) con respecto a todos los módulos, en condiciones iniciales y cuando se transmite datos.

El alto consumo de energía se debe a las características que posee el módulo como son los dos núcleos que trabajan a 240 MHz son capaces de rendir hasta 600 DMIPS, una placa de desarrollo entera, la cual tiene una electrónica extra para la regulación de tensión, tiene conectividad USB y leds de encendido, procesador integrado con interfaces para conectarse con varios periféricos, entre otros componentes, afirman unos de los fabricantes **Espressif Systems** quien desde hace varios años se encarga de producir estos dispositivos IOT.

Referencias

- [1] T. Shaikh, P. Mane, A. Yeola and S. Handore, "IoT Based Power Management System (Academic Year 2019-20)," 2020 Fourth World Conference on Smart Trends in Systems, Security and Sustainability (WorldS4), 2020, pp. 597-602, doi: 10.1109/WorldS450073.2020.9210365.
- [2] Y. Pingle, T. Ogale, N. C. Signh, S. Sandimani and V. Shirsath, "Human detection by measuring its distance based on IOT," 2016 3rd International Conference on Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2016, pp. 1434-1435.
- [3] A. Karthika, K. R. Valli, R. Srinidhi and K. Vasanth, "Automation Of Energy Meter And Building A Network Using Iot," 2019 5th International Conference on Advanced Computing & Communication Systems (ICACCS), 2019, pp. 339-341, doi: 10.1109/ICACCS.2019.8728404.
- [4] S. Wasoontarajoen, K. Pawasan and V. Chamnanphrai, "Development of an IoT device for monitoring electrical energy consumption," 2017 9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE), 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICITEED.2017.8250475
- [5] X. Ding and J. Wu, "Study on Energy Consumption Optimization Scheduling for Internet of Things," in IEEE Access, vol. 7, pp. 70574-70583, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2919769.
- [6] A. Sehati and M. Ghaderi, "Online Energy Management in IoT Applications," IEEE INFOCOM 2018 - IEEE Conference on Computer Communications, 2018, pp. 1286-1294, doi: 10.1109/INFOCOM.2018.8486421
- [7] M. Kim, J. Lee, Y. Kim and Y. H. Song, "An analysis of energy consumption under various memory mappings for FRAM-based IoT devices," 2018 IEEE 4th World Forum on Internet of Things (WF-IoT), 2018, pp. 574-579, doi: 10.1109/WF-IoT.2018.8355212.
- [8] A. Mebrek, L. Merghem-Boulahia and M. Esseghir, "Efficient green solution for a balanced energy consumption and delay in the IoT-Fog-Cloud computing," 2017 IEEE 16th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA), 2017, pp. 1-4, doi: 10.1109/NCA.2017.8171359.
- [9] V. Dhaimodker, R. Desai, S. Mini and D. K. Tosh, "Quality-driven Energy Optimization in Internet of Things," 2020 29th International Conference on Computer Communications and

Networks (ICCCN), 2020, pp. 1-8, doi: 10.1109/ICCCN49398.2020.9209666.

[10] H. Benyezza, M. Bouhedda, K. Djellout and A. Saidi, "Smart Irrigation System Based Thingspeak and Arduino," 2018 International Conference on Applied Smart Systems (ICASS), 2018, pp. 1-4, doi: 10.1109/ICASS.2018.8651993.

[11] I. Allafi, T. Iqbal, "Design and implementation of a low cost web server using ESP32 for real-time photovoltaic system monitoring," 2017 IEEE Electrical Power and Energy Conference, 2017, pp. 1-5, doi: 10.1109/EPEC.2017.8286184

[12] N. Nikolov, O. Nakov, "Research of Secure Communication of Esp32 IoT Embedded System to.NET Core Cloud Structure using MQTTS SSL/TLS," 2019 IEEE XXVIII International Scientific Conference Electronics (ET), 2019, pp. 1-4, doi: 10.1109/ET.2019.887863.

[13] D. Parida, A. Behera, J. K. Naik, S. Pattanaik and R. S. Nanda, "Real-time Environment Monitoring System using ESP8266 and ThingSpeak on Internet of Things Platform," 2019 International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICCS), 2019, pp. 225-229, doi: 10.1109/ICCS45141.2019.9065451.

[14]

[15] P. Serikul, N. Nakpong and N. Nakjuatong, "Smart Farm Monitoring via the Blynk IoT Platform: Case Study: Humidity Monitoring and Data Recording," 2018 16th International Conference on ICT and Knowledge Engineering (ICT&KE), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/ICTKE.2018.8612441.

[16] J. Mesquita, D. Guimarães, C. Pereira, F. Santos, L. Almeida, "Assessing the ESP8266 WiFi module for the Internet of Things," 2018 IEEE 23rd International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation

(ETFA), 2018, pp. 784-791, doi: 10.1109/ETFA.2018.8502562.

[17] M. Collotta and G. Pau, "An Innovative Approach for Forecasting of Energy Requirements to Improve a Smart Home Management System Based on BLE," in IEEE Transactions on Green Communications and Networking, vol. 1, no. 1, pp. 112-120, March 2017, doi: 10.1109/TGCN.2017.2671407.

[18] J. J. Treurniet, C. Sarkar, R. V. Prasad and W. De Boer, "Energy Consumption and Latency in BLE Devices under Mutual Interference: An Experimental Study," 2015 3rd International Conference on Future Internet of Things and Cloud, 2015, pp. 333-340, doi: 10.1109/FiCloud.2015.108

[19] M. Sheth and P. Rupani, "Smart Gardening Automation using IoT With BLYNK App," 2019 3rd International Conference on Trends in Electronics and Informatics (ICOEI), 2019, pp. 266-270, doi: 10.1109/ICOEI.2019.8862591.

[20] S. Zarza Sánchez, R. M. Fernández-Cantí, J. A. Lázaro, I. O. Gómez and J. A. Altabás Navarro, "Monitoring and remote control of energy consumption by WiFi networks," 2014 IEEE 11th International Multi-Conference on Systems, Signals & Devices (SSD14), 2014, pp. 1-5, doi: 10.1109/SSD.2014.6808798.

[21] B. K. Barman, S. N. Yadav, S. Kumar and S. Gope, "IOT Based Smart Energy Meter for Efficient Energy Utilization in Smart Grid," 2018 2nd International Conference on Power, Energy and Environment: Towards Smart Technology (ICEPE), 2018, pp. 1-5, doi: 10.1109/EPETSG.2018.8658501

[22] S. Bardhan, S. Bagchi, M. Jenamani and A. Routray, "Non-Invasive method using Contact-less Sensors and Embedded Platform for Monitoring Quality determining factors of Indian Mangoes," IECON 2020 The 46th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics

Society, 2020, pp. 2281-2285, doi:
10.1109/IECON43393.2020.9254976.

[23] El Grupo de Interés Especial de
Bluetooth.

Especificación del sistema Bluetooth, paquete
básico cubierto; Versión: 5.0; The Bluetooth
Special Interest Group: Kirkland, WA, EE. UU.,
2016.