

MONITOREO DE SIGNOS VITALES USANDO IoT

MONITORING OF VITAL SIGNS USING IoT

José Ignacio Vega Luna

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

Mario Alberto Lagos Acosta

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

Francisco Javier Sánchez Rangel

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

José Francisco Cosme Aceves

Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, México
viji@azc.uam.mx

Recepción: 22/octubre/2019

Aceptación: 23/noviembre/2019

Resumen

Se presenta un sistema para monitorear los signos vitales de una persona desde la Internet. El objetivo fue reportar a un servidor ubicado en la nube los signos vitales de un paciente: presión arterial, ritmo cardiaco, temperatura y frecuencia respiratoria. Fue realizado para que personal médico realice el diagnóstico del estado de salud de personas que vivan solas o en lugares apartados y brindar atención oportuna. El sistema se compone de tres módulos: el colector de signos vitales, la interfaz de comunicación inalámbrica y la interfaz de usuario. El colector de información transmite el valor de los signos vitales a la plataforma de IoT ThinkSpeak y la interfaz de usuario permite visualizar el valor de los signos. Si alguno de los signos alcanza el umbral establecido, se transmite un SMS y un mensaje de WhatsApp a un teléfono móvil. El alcance del sistema fue 48 metros al punto de acceso.

Palabras Claves: Internet, presión sanguínea, ritmo cardiaco, signos vitales, WiFi.

Abstract

This paper presents a system to monitor the vital signs of a person from the Internet. The objective was to report to a server located in the cloud the vital signs of a patient: blood pressure, heart rate, temperature and respiratory rate. It was made for medical personnel to diagnose the state of health of people living alone or in remote places and provide timely care. The system consists of three modules: the vital signs collector, the wireless communication interface and the user interface. The information collector transmits the value of the vital signs to the ThinkSpeak IoT platform and the user interface allows you to visualize the value of the signs. If any of the signs reaches the set threshold, an SMS and a WhatsApp message is transmitted to a mobile phone. The range of the system was 48 meters to the access point.

Keywords: *Blood pressure, heart rate, Internet, vital signs, WiFi.*

1. Introducción

Hoy en día, es común encontrar en muchos ambientes sensores electrónicos usados para la lectura variables. Los sensores electrónicos se usan en hogares, oficinas, hospitales, industrias, laboratorios, automóviles e infraestructura de ciudades. Se utilizan obtener información de una variedad de procesos y dispositivos. La información leída por los sensores se transmite a un equipo central de monitoreo. Este equipo central puede estar ubicado en la Internet, lo cual proporciona la conexión digital de objetos de uso cotidiano a la nube. Se conecta el mundo físico con el digital por medio de computadoras y plataformas web que almacenan y procesan la información colectada por los sensores [Saha, 2017].

La conexión digital de objetos de uso cotidiano a la Internet forma el concepto de Internet de las Cosas (IoT). La IoT es una infraestructura de red inteligente con la cual se realiza el monitoreo de variables y automatización de procesos de forma rápida y segura. La IoT permite conectar una variedad de dispositivos embebidos, o cosas, a la Internet, que se comunican con personas y otras cosas proporcionando información de sensores la cual se almacena, procesa y analiza en la nube. Una aplicación de la IoT es el cuidado de la salud. Se pueden construir dispositivos cada

vez más compactos y sencillos conectados a la Internet para monitorear el estado de un paciente médico. Estos dispositivos usan las últimas tecnologías en electrónica, sistemas digitales y comunicaciones [Celler, 2016]. En la actualidad, la tecnología ofrece sensores pequeños y eficientes, tarjetas de desarrollo con interfaces de conexión inalámbrica y microcontroladores que ejecutan programas en lenguajes sencillos como Python. Con los avances tecnológicos y la disponibilidad de proveedores de servicios de almacenamiento y análisis de información en la nube, que hasta hace unos pocos años no existían, el desarrollo de aplicaciones de IoT ha crecido rápidamente los últimos años. Se pueden realizar aplicaciones eficientes que almacenan y procesan información recibida desde sensores para llevar a cabo una acción sobre un proceso remotamente y transmitir mensajes de voz, texto, video o de WhatsApp a un teléfono móvil o aplicación web [Numanoglu, 2018].

El monitoreo de signos vitales es un área en la que continúan realizándose aplicaciones importantes, ya que son indicadores que reflejan el estado fisiológico del ser humano. Expresan de forma inmediata los cambios funcionales en el organismo que de otra manera no podrían ser cuantificados, razón por la cual continuamente se realizan numerosos trabajos e investigaciones para optimizar y hacer más eficiente el uso de los resultados obtenidos. Las investigaciones en este campo están dirigidas actualmente en dos direcciones: el desarrollo de sensores de no contacto [Sinha, 2017] y el monitoreo remoto de signos vitales o también llamada telemetría de cuidado de la salud [Raji, 2016].

En lo referente al desarrollo de sensores de no contacto, se han realizado sistemas de monitoreo, de uno o algunos signos vitales, usando sensores que emiten pulsos de penetración reflejados en el cuerpo humano [Wang, 2017]. Estos sistemas llevan a cabo el monitoreo localmente, sin conexión a la Internet, y el principal objetivo ha sido el uso de nuevas técnicas para lectura de signos vitales. Algunas de estas investigaciones usan sensores de radar basados en efecto Doppler [Hall, 2016] o en divisores de frecuencia de inyección bloqueada [Tseng, 2018]. En otros trabajos, los sensores son leídos a través de un FPGA [Rizal, 2015] o son usados para simular signos vitales en cursos de entrenamiento médico [Ichimura, 2017]. Algunas

de estas investigaciones reportan el valor de los sensores a dispositivos móviles usando tecnología Bluetooth [Daou, 2015] y otras usan redes neuronales para prevenir condiciones graves en un paciente [Patel, 2019].

En cuanto a la segunda línea de investigación, los sistemas de monitoreo transmiten la información de signos vitales a una computadora ubicada en la Internet, en algunos casos esta computadora cuenta con una interfaz de usuario que muestra en línea el valor de los signos vitales sin almacenarlos históricamente [Shu, 2017], [Lomelí, 2018]. En muchas aplicaciones de este tipo, no se usa una plataforma de IoT, lo cual incrementa el costo y tiempo de implantación del sistema. Algunos de estos sistemas pueden transmitir mensajes de texto de alerta a teléfonos móviles usando una línea celular [Srinivas, 2018], [Saraswathi, 2016]. Se han realizado trabajos para monitorear desde la Internet uno o varios signos vitales como: ritmo cardíaco [Mohammed, 2014], temperatura corporal y saturación de oxígeno [Ramírez, 2018], [Terán, 2019] o para monitorizar rutinas de entrenamiento y hábitos alimenticios de personas bajo tratamiento médico [Gómez, 2016]. Al margen de esto, también se han implantado sistemas para transmisión inalámbrica de signos vitales de personas atrapadas en edificios colapsados en operaciones de búsqueda y rescate [Pallis, 2014] y sistemas que usan sensores, del tamaño de una píldora, que ingiere una persona y transmiten desde el intestino las ondas de sonido generadas por los latidos del corazón y por la inhalación y exhalación de pulmones con alcance de pocos metros [Traversr, 2015].

Existen retos por resolver en el cuidado de la salud de pacientes que no cuentan con personal médico en el momento de una emergencia o vivan solas o a distancia. Es necesario incrementar la eficiencia del monitoreo remoto de signos vitales disminuyendo el costo de dispositivos usados y que sean accesibles la gente que los necesita. Por tal razón, el objetivo planteado en este trabajo fue desarrollar un sistema compacto de fácil uso e instalación para el monitoreo remoto de: presión arterial, ritmo cardíaco, temperatura y frecuencia respiratoria.

El sistema construido está basado en una tarjeta PyBoard a la cual se conectaron los medidores de los signos vitales de la persona. La tarjeta PyBoard transmite, a través de una interfaz WiFi, el valor de los signos vitales a un servidor ubicado en la

nube, para su visualización en línea o históricamente desde una interfaz de usuario. Si el valor de alguno de los signos vitales alcanza el umbral configurado, el sistema transmite un SMS y un mensaje de WhatsApp a un teléfono móvil. Se utilizó el servidor del proveedor de servicios ThinkSpeak y el servicio de Twilio para la transmisión de los mensajes. Las ventajas del trabajo aquí presentado, respecto a lo desarrollado hasta el momento y sus aportaciones son las siguientes:

- Los sensores usados no son intrusivos y se instalan sin ayuda de personal médico, lo cual es útil en lugares apartados o personas que vivan solas.
- La mayoría de los sensores son inalámbricos evitando cableado que incomode al paciente.
- Permite al personal médico responder rápidamente y evitar situaciones graves al visualizar los signos vitales desde la Internet.
- Se reduce en gran cantidad el costo, tiempo de realización y mantenimiento del sistema al usar un servidor en la nube cuya licencia de uso no tiene costo para el volumen de información transmitido por esta aplicación. Esto también tiene la ventaja de contar con un servidor altamente disponible y de calidad.

Twilio es un servicio en la nube que proporciona, a través de un paquete, una biblioteca de funciones que pueden invocarse en un programa en MicroPython para interactuar con las REST API de este servicio para la transmisión de SMS y mensajes de WhatsApp. El uso gratuito de Twilio permite enviar hasta 1,000 mensajes al mes. Para más de 1,000 mensajes, Twilio ofrece diferentes planes en los que el costo promedio del mensaje es 0.00025 USD.

2. Métodos

La metodología usada para el diseño del sistema fue dividirlo en tres módulos: el colector de signos vitales, la interfaz de comunicación inalámbrica y la interfaz de usuario. Posteriormente, se seleccionaron los elementos para la implantación de cada módulo de acuerdo al diseño realizado y por último se llevaron a cabo las pruebas funcionales del sistema. En la figura 1 se muestra el diagrama de bloques funcional del sistema.

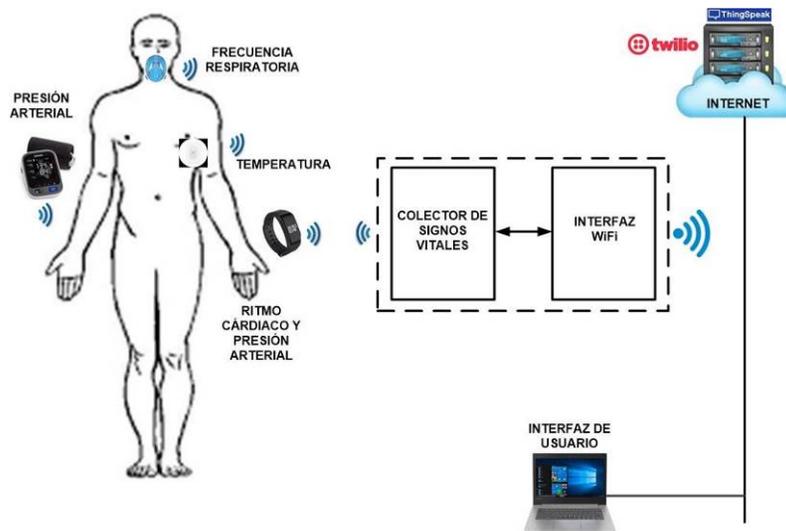


Figura 1 Diagrama funcional del sistema.

El Colector de Signos Vitales

Este módulo del sistema está integrado por la tarjeta PyBoard PYBV1.0, los medidores de signos vitales y la interfaz Bluetooth LE. Se usó la tarjeta PyBoard porque es de fácil adquisición y puede ejecutar programas realizados en Mycropython. MicroPython es un lenguaje de programación que incluye un conjunto grande de bibliotecas estándares de Python. Fue creado con el objetivo de ser compatible con Python y transferir fácilmente código desarrollado en una computadora a un microcontrolador o a un sistema embebido. Ha sido optimizado para ejecutarse en microcontroladores, lo cual facilitó el desarrollo de la programación de esta aplicación y no usar un lenguaje complejo de bajo nivel, ya que existe una gran cantidad de bibliotecas de funciones de libre uso y código abierto en la nube para realizar una variedad de tareas.

La tarjeta PyBoard cuenta con los siguientes recursos hardware: microcontrolador STM32F405RG con CPU Cortex M4 de 168 MHz y punto flotante, puerto USB, memoria flash ROM de 1024 KB, memoria RAM de 192 KB, ranura para tarjeta Micro SD, acelerómetro de 3 ejes (MMA7660), reloj de tiempo real, 29 terminales de entrada/salida de propósito general, 3 convertidores analógico/digital de 12 bits, 2 convertidores digital/analógico de 12 bits, 4 puertos USART, 2 puertos I²C, 2

puertos UART, programa de bootloader para actualización del firmware y se alimenta con 3.3 V.

En este módulo del sistema se usaron tres medidores que integran una red Bluetooth. El primero de ellos es un medidor L8star modelo R3 que se usa como pulsera y mide la presión arterial y ritmo cardíaco. Trabaja también como oxímetro para medir la saturación de oxígeno en la sangre. Para medir la temperatura se utilizó un termómetro corporal modelo CBT15-I, cuyo rango es 25 a 55 °C y precisión de ± 0.05 °C. El tercer medidor utilizado es un baumanómetro aneroide con brazaletes para muñeca o para brazo Omron Modelo BP786 que se puede usar para medir la presión arterial en caso de que el médico lo requiera, ya que algunos médicos solicitan la medida de la presión arterial y pulso en el brazo cuando el estado de la persona sea grave. El rango de medida de presión y pulso del baumanómetro es 0 a 299 mmHg y 40 a 180 latidos/minuto, respectivamente. Fueron seleccionados los tres medidores indicados anteriormente ya que no son intrusivos, son de fácil instalación y no utilizan cableado para transmitir los valores medidos, lo cual puede incomodar a la persona o alterarla y modificar los signos vitales. Los medidores empleados cuentan con una interfaz Bluetooth LE (Low Energy) 4.0 de bajo consumo de energía que trabaja como esclavo en la red Bluetooth. El alcance de esta interfaz son 12 metros en promedio y se enlaza con la interfaz Bluetooth del colector de signos vitales configurada como maestro.

Para medir la frecuencia respiratoria, se construyó un circuito electrónico instalado en una mascarilla de respiración del tipo nebulizador que usan los pacientes de asma, la cual se coloca en la nariz del paciente. El circuito electrónico está compuesto por un termistor, un microcontrolador y una interfaz Bluetooth LE. El termistor utilizado es el dispositivo NTHS0402 de Vishay Dale. El microcontrolador usado es el PIC16LF1554 de 14 terminales, el cual incorpora dos convertidores analógico/digital (ADC) de 10 bits y un puerto EUSART. La interfaz Bluetooth LE utilizada es el módulo HM-10. El circuito trabaja de manera tal que al respirar aire caliente la persona cambia la resistencia del termistor, presentando valor bajo cuando la temperatura se incrementa y valor alto cuando la temperatura desciende. De esta forma, la caída de voltaje en el termistor es directamente proporcional a la

respiración de la persona, disminuye cuando exhala y aumenta cuando inhala. El cambio en el voltaje son 10 mV aproximadamente, el cual se amplificó utilizando un amplificador operacional configurado como filtro pasa altas. La salida del amplificador es leída por medio del ADC1 del microcontrolador, convertida a un valor de 10 bits y transmitida a la tarjeta PyBoard por medio del módulo HM-10. El puerto EUSART del PIC16LF1554 se conectó al UART del HM-10. En la figura 2 se indica el diagrama de bloques del circuito construido para medir la frecuencia respiratoria.

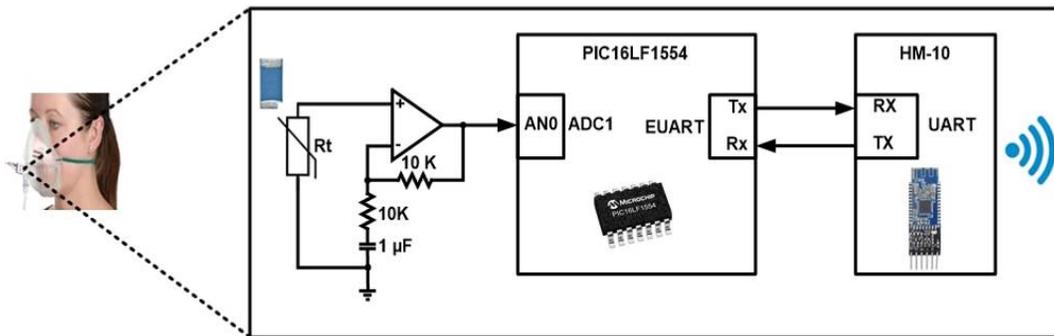


Figura 2 Circuito de medida de la frecuencia respiratoria.

Para implantar la interfaz Bluetooth 4.0 LE-Low Energy del colector de signos vitales se utilizó el módulo Adafruit Bluefruit LE UART Friend. Este módulo está basado en el circuito nRF51822, se alimenta con 5 V, incorpora un regulador de 3.3 V y su alcance son 100 metros en interiores. Cuenta con un UART el cual se conectó al puerto UART0 de la tarjeta PyBoard. Para configurar este módulo desde la tarjeta PyBoard se utilizó la biblioteca de funciones de código abierto Adafruit_Python_BluefruitLE.

La Interfaz de Comunicación Inalámbrica

Para la conexión a la Internet, a través del punto de acceso, se utilizó como interfaz inalámbrica WiFi el módulo TinySine WiFi Skin for PyBoard. Este módulo trabaja en base al circuito ESP-07S, el cual pertenece a la familia ESP8266. El UART del ESP-07S se conectó al puerto UART1 de la tarjeta PyBoard para llevar a cabo la comunicación serie. En la figura 3 se muestra el diagrama de bloques de la conexión del módulo colector de signos vitales con la interfaz inalámbrica.

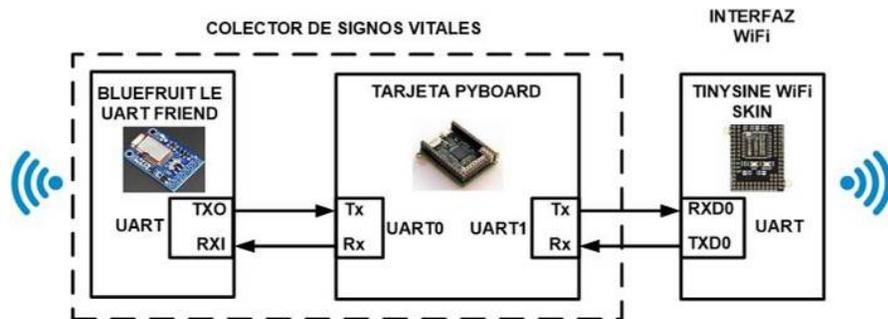


Figura 3 Conexión del módulo colector con la interfaz inalámbrica.

El programa que ejecuta el microcontrolador de la tarjeta PyBoard realiza las siguientes tareas:

- Inicializa los puertos UART, la interfaz WiFi, la interfaz Bluetooth, establece los valores de umbral de los signos vitales, establece el número de teléfono móvil del personal médico, inicializa el temporizador que interrumpe cada 5 segundos y define la función a ejecutar cuando interrumpe el temporizador anterior.
- Entra a un ciclo en el que invoca la función que implanta la interfaz de usuario y espera la interrupción del temporizador. La función que atiende la interrupción del temporizador, o ISR (Interrupt Service Routine), lee desde cada esclavo Bluetooth el valor de los signos vitales, lo convierte de binario a decimal e invoca la rutina que usa la REST API de escritura para transmitir el mensaje a ThingSpeak con el valor de los signos vitales, la fecha y la hora. Si alguno de los signos vitales alcanza el umbral, esta función invoca la rutina que usa la REST API de Twilio para transmitir el SMS y el mensaje de WhatsApp. En la figura 4 se indica el diagrama de flujo usado para realizar este programa.

ThingSpeak es una plataforma de servicios de análisis de información en la nube con la cual se puede coleccionar datos de sensores instalados en dispositivos inteligentes para almacenarla, visualizarla y analizarla. En ThingSpeak se puede ejecutar código de MATLAB para analizar históricamente la información recibida o generar una acción remotamente sobre: aplicaciones web y móviles, redes sociales

como Twitter, soluciones de mensajería, VoIP, servicios en la nube como Twilio y dispositivos con hardware de código abierto como Arduino, Raspberry Pi y PyBoard.

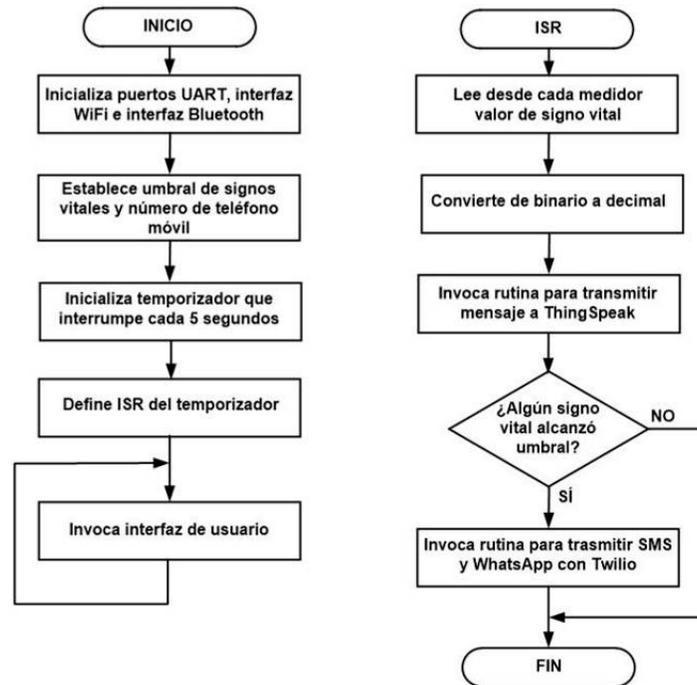


Figura 4 Diagrama de flujo de la programación.

Para aplicaciones de IoT que transmiten al servidor de la nube hasta 10 millones de mensajes por año, el servicio de ThingSpeak no tiene costo. Esta cantidad de mensajes es suficiente para la aplicación aquí desarrollada. Cada mensaje puede contener hasta 8 valores de diferentes sensores o variables. Para cantidades mayores a 10 millones de mensajes, ThingSpeak ofrece diferentes tipos de licencias de acuerdo a la cantidad a transmitir. En la figura 5 se muestra el código en MicroPython de la rutina realizada para transmitir un mensaje a ThingSpeak.

ThingSpeak usa canales para el intercambio de mensajes con las aplicaciones de IoT. Se usa una REST API para crear un canal y obtener el identificador del mismo y las claves de las REST API para escritura y lectura de datos.

Una vez creado el canal, se intercambian mensajes que contienen: la ruta de la REST API a usar, la clave de la REST API y hasta 8 campos que pueden contener cualquier tipo de dato, como por ejemplo el valor de una variable leída desde un sensor.

```
#!/usr/bin/python
import time
import os
import sys
import urllib
import urllib2
#
# Definicion de constantes
THINGSPEAKURL = 'https://api.thingspeak.com/update'
API-KEY = 'XXXXXXXXXXXXXXXXXX'
#
# Transmision de mensaje a ThinkSpeak
#
def
sendData(url,key,field1,field2,field3,field4,field5,field6,presion,cardiaco,temp,frec1,frec2,fecha):
    valor-campos = {'api_key': key,'field1': presion,'field2': cardiaco,'field3': temp,'field4': frec1,
'field5': frec2,'field6': fecha}
    postdata = urllib.urlencode(valor-campos)
    req = urllib2.Request(url, postdata)

    # Envía mensaje a Thingspeak con REST API de
    # escritura
    resp = urllib2.urlopen(req, None, 5)
    string_html = resp.read()
    resp.close()
#
# Programa Principal
#
def main():
    global presion
    global cardiaco
    global temp
    global frec1
    global frec2
    fecha = time.strftime("%d-%m-%Y,%H:%M:%S")
    sendData(THINGSPEAKURL,API-
KEY,'field1','field2','field3','field4','field5','field6',presion,cardiaco,temp,frec1,frec2,fecha)
if __name__=="__main__":
    main()
```

Figura 5 Rutina de transmisión de mensajes a ThinkSpeak.

Los mensajes de los 6 campos usados en este trabajo indican el valor de presión arterial, ritmo cardiaco, temperatura, frecuencia respiratoria del sensor pulsera, frecuencia respiratoria del baumanómetro, la fecha y la hora. En la programación de la tarjeta PyBoard se realizó una rutina que utiliza las REST API de Twilio cuyo código se muestra en la figura 6.

La Interfaz de Usuario

La interfaz de usuario es el servidor web y la página del mismo implantados con MycroPython en la tarjeta PyBoard. A través de esta interfaz, se puede visualizar en línea e históricamente el valor de los signos vitales de la persona. Para realizar la programación del servidor web se utilizó la biblioteca de funciones de código abierto *uasyncio* [Sokolovsky, 2019]. Esta biblioteca se utiliza para desarrollar servidores web con microcontroladores, usando la cantidad mínima de memoria RAM. En la figura 7 se muestra la pantalla principal de la interfaz de usuario del sistema y en la figura 8 se muestra la fotografía del sistema construido.

```
#!/usr/bin/python
import os
import sys
from twilio.rest import Client
#
# Definicion de constantes
ACCOUNT_SID='XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX'
AUTH_TOKEN='YYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYYY'
# Transmision de SMS y WhatsApp
#
def sendSMSWhatsApp:
client = Client(ACCOUNT_SID, AUTH_TOKEN)
message = client.messages.create(
from_='+15017122661',
body='Alerta: Uno de los Signos Vitales excedio umbral!!!',
to='+521555ZZZZZZ'
)
client = Client(ACCOUNT_SID, AUTH_TOKEN)
message = client.messages.create(
body=' Alerta: Uno de los Signos Vitales excedio umbral!!!',
from_=' WhatsApp:+15017122661',
to=' WhatsApp:+521555ZZZZZZ'
)
#
# Programa Principal
#
def main():
global ACCOUNT_SID
global AUTH_TOKEN

sendSMSWhatsApp
if __name__=="__main__":
main()
```

Figura 6 Rutina de transmisión del SMS y mensaje de WhatsApp.



Figura 7 Interfaz de usuario.



Figura 8 Sistema construido.

3. Resultados

Para comprobar la funcionalidad del sistema se realizaron cuatro grupos de pruebas. El primer grupo tuvo como objetivo determinar el porcentaje de error de la medida de presión arterial y temperatura, reportada en la interfaz de usuario, respecto a la medida de referencia de ambos signos vitales. Se usaron estos dos parámetros debido a que son los que el personal médico considera de mayor prioridad. Para realizar estas pruebas se midieron estos dos signos vitales en un conjunto de 75 personas. La edad de las personas estuvo en el rango de 15 a 75 años. En cada persona se midió la presión arterial y temperatura en condiciones de reposo y después de realizar movimientos de ejercicio ligero. En este grupo de personas, 65 fueron sanas y 10 de ellas presentaban presión baja y alta. En estas pruebas se consideró como referencia la medida de presión arterial tomada con el baumanómetro aneroide colocado en el brazo de las personas y para la temperatura se consideró como referencia la medida a través de un termómetro por infrarrojos de medición precisa Medisana FTN 76120 cuya precisión es 0.18 °C. De esta forma, el resultado obtenido fue 0.92% de error en la presión arterial y 0.276% de error en la temperatura medida por el sistema. En la tabla 1 se muestran las medidas anteriores en las primeras 20 personas del grupo.

Tabla 1 Medidas de presión arterial y temperatura realizadas en 20 personas.

Persona	Edad (años)	Presión arterial (NIBP)		Temperatura (°C)	
		Baumanómetro	IoT	Termómetro	IoT
1	15	110	110	36.2	36.1
2	15	108	107	36.8	36.9
3	16	109	110	36.4	36.3
4	18	115	115	37.1	37.2
5	18	120	121	37.2	37.1
6	25	125	124	36.1	36.1
7	28	129	129	36.0	36.1
8	33	120	121	36.2	36.0
9	37	127	127	36.4	36.3
10	40	129	129	37.0	37.1
11	41	132	131	36.4	36.3
12	43	129	128	36.2	36.2
13	46	130	131	36.5	36.5
14	52	136	136	36.8	36.7
15	55	138	137	36.9	36.8
16	60	138	138	37.0	37.0
17	65	140	141	36.8	36.7
18	70	142	142	37.1	37.0
19	74	138	138	36.8	36.8
20	75	180	180	36.5	36.5

El segundo grupo de pruebas tuvo como objetivo determinar el alcance en la comunicación Bluetooth LE establecida entre los medidores colocados en el cuerpo de una persona y el colector de signos vitales. Para llevar a cabo estas pruebas, se ubicó el módulo colector de signos vitales a diferentes distancias respecto a la persona, obteniendo como resultado que el enlace Bluetooth se pierde a una distancia de 16.5 metros con línea de vista. Esta distancia es un poco mayor al alcance indicado por el fabricante de los medidores de signos vitales el cual es 12 metros en promedio.

El objetivo del tercer grupo de pruebas fue determinar el alcance de la transmisión WiFi de la interfaz inalámbrica. Para realizar estas pruebas, se instaló el sistema a diferentes distancias, con línea de vista, respecto al punto de acceso Cisco E2500 N6000. Los resultados mostraron que el alcance es 48 metros aproximadamente a una velocidad de 289 Mbps, un poco menor a los 300 Mbps que pueden lograrse teóricamente usando el estándar 802.11n. A una distancia mayor a 48 metros la potencia decreció aceleradamente y se perdió el enlace cuando el nivel cayó a los -81 dBm como se muestra en la gráfica de la figura 9.

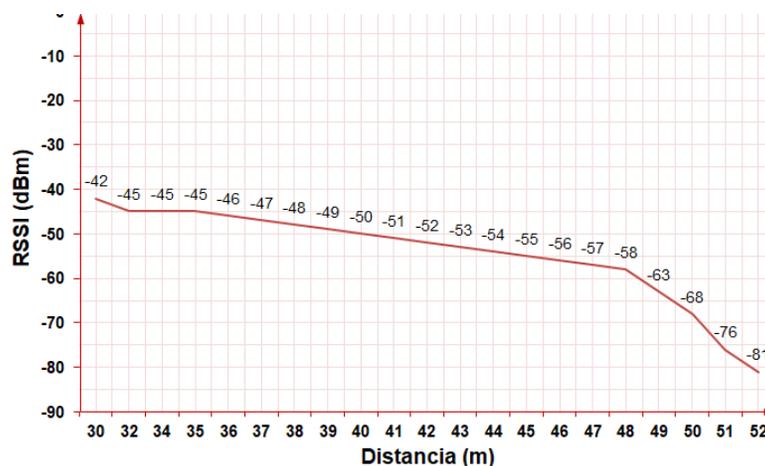


Figura 9 Alcance de la transmisión del sistema.

Para medir la velocidad de transmisión y nivel de potencia de la señal WiFi recibida (RSSI-Received Signal Strength Indicator) desde el punto de acceso a cada localidad donde se localizó el sistema, se utilizó la herramienta *inSSIDer* [MetaGeek, 2019] instalada en una computadora portátil.

El cuarto grupo de pruebas tuvo como fin verificar que el envío del SMS y mensaje de WhatsApp fuera exitoso. En este escenario se realizaron dos pruebas, en la primera se colocó el medidor de presión arterial en una persona cuya presión fue mayor al establecido en el umbral y en la segunda se colocó el medidor de temperatura en la salida de una pistola de aire caliente para medir una temperatura mayor al valor de umbral. En ambos casos, el sistema envió los mensajes, como el mostrado en la figura 10, al teléfono configurado en el sistema. En la figura 11 se muestra la página web de ThinkSpeak y las gráficas de valores de signos vitales recibidas desde el sistema.



Figura 10 Mensaje de alerta.

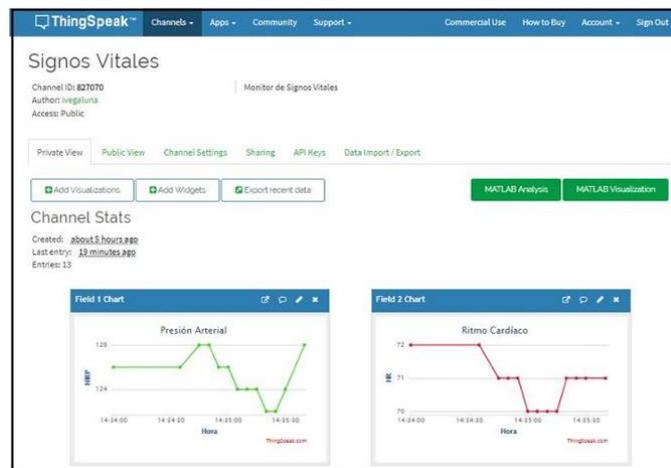


Figura 11 Gráficas de información recibida.

4. Discusión

La mayoría de los medidores de signos vitales usados en el sistema se adquirieron, no se construyeron en este trabajo. Esto se hizo con dos fines: 1) Aprovechar la exactitud de cada medidor usado y la interfaz Bluetooth que éstos incorporan y 2) Evitar el uso de sensores y medidores cableados que puedan interferir con el cuidado y comodidad del paciente. Los medidores usados no aumentan considerablemente el costo del sistema, el cual es \$150 USD aproximadamente incluyendo el baumanómetro aneroide, proporcionando beneficios importantes a un precio relativamente bajo.

En esta aplicación, la cantidad de mensajes enviados a ThinkSpeak y Twilio permiten usar los servicios de almacenamiento de información en la nube y mensajería sin costo. Para otro tipo de aplicación deberá considerarse la cantidad de información transmitida y servicios usados. Adicionalmente, el usar un proveedor de servicios de Internet como ThinkSpeak permite usar un servidor altamente disponible sin responsabilidad administrativa para el desarrollador de aplicaciones de IoT. Esto es, el costo y tiempo de instalación, configuración y mantenimiento del servidor no adiciona costos a la aplicación. El sistema se construyó para usarse en interiores, donde exista un punto de acceso WiFi a la Internet a no más de 48 metros. Si es necesario extender el alcance pueden usarse repetidores WiFi o si el alcance necesario es hasta 10 kilómetros, como podría ser el caso de un hospital, puede usarse como interfaz inalámbrica un transceptor LoRa (Long Range). La ventaja de usar tecnología LoRa es que se logra mayor distancia entre el módulo colector de signos vitales y el punto de acceso a la Internet. Gran parte de los proveedores de tecnología LoRa proporcionan el uso sin costo de un servidor en la nube. La desventaja de usar estos proveedores es el precio del punto de acceso, ya que en el caso de las puertas de enlace LoRa es más de \$1,000 USD.

5. Conclusiones

Se obtuvo como resultado un sistema de monitoreo remoto de signos vitales a través de la Internet, el cual cumple con los objetivos planteados: es compacto, es fácil de usar e instalar, no es intrusivo y es confiable. Es útil en situaciones donde el

personal médico no se encuentre en el lugar del paciente y permite responder rápida y oportunamente ante cualquier situación crítica de salud. El sistema construido fue probado y reporta los signos vitales cada 5 segundos al servidor en la nube. La interfaz de usuario cuenta con un botón que permite mostrar históricamente el valor de los signos vitales de forma numérica tabular. Se tiene planeado, a corto plazo, trabajar en la rutina que muestre gráficamente, en línea y de forma histórica, los signos vitales. Finalmente, con ayuda de un especialista médico, se puede adicionar a la interfaz de usuario la capacidad de indicar el diagnóstico del estado de salud de la persona y acciones recomendables cuando el valor de los signos vitales sea fuera de lo normal considerando la edad del paciente.

6. Bibliografía y Referencias

- [1] Celler, B. & Sparks, R. Home Telemonitoring of Vital Signs-Technical Challenges and Future Directions. *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*. Volume: 19, Issue: 1, pp. 82-91, August, 2016.
- [2] Daou, R., Aad, E. & Nakhle, F. Patient vital signs monitoring via android application. *International Conference on Advances in Biomedical Engineering Proceedings*. Beirut, Lebanon. Sept., pp. 166-169, 2015.
- [3] Gómez, J., Oviedo, B. & Zhuma, E. Patient Monitoring System Based on Internet of Things. *The 7th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies. Proceedings*. Madrid, Spain. May, pp. 90-97, 2016
- [4] Ichimura, T. & Hirakoso, N. A novel patient simulator that generates artificial vital signs. *IEEE 6th Global Conference on Consumer Electronics Proceedings*. Nagoya, Japan. Oct., pp. 1-2, 2017.
- [5] Lomelí-Herrera, L., Aguayo-Ríos, F. & Martínez-Peláez, R. Dispositivo telemétrico para monitoreo de frecuencia cardiaca y saturación de oxígeno. *Revista Pistas Educativas*. No. 128, pp. 926-943, 2018.
- [6] Numanoglu, R., Koçak, O. & Malhan, S. Evaluation of the Methods Used for the Vital Signs Measurement in Hospitalized Patients. *Medical Technologies National Congress Proceedings*. Magusa, Cyprus. Nov., pp. 1-4, 2018.

- [7] Hall, T., Malone, N. & Tsay, J. Long-term vital sign measurement using a non-contact vital sign sensor inside an office cubicle setting. 38th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society Proceedings. Orlando, FL, USA. Aug., pp. 4845-4848, 2016.
- [8] MetaGeek, LLC. inSSIDer: See Through the Noise. Disponible en: <https://www.metageek.com/products/inssider/>. Julio, 2019.
- [9] Mohammed, J., Lung, C. & Ocneanu, A. Internet of Things: Remote Patient Monitoring Using Web Services and Cloud Computing. IEEE International Conference on Internet of Things (iThings). Taipei, Taiwan. Sept., pp. 256-263, 2014.
- [10] Pallis, G., Ferreira, N. & Hildebrand, L. Wireless transmission of vital signs of entrapped victims during search and rescue operations in collapsed buildings. 4th International Conference on Wireless Mobile Communication and Healthcare-Transforming Healthcare Through Innovations in Mobile and Wireless Technologies Proceedings. Athens, Greece. Nov., pp. 254-257, 2014.
- [11] Patel, W., Patel, C. & Valderrama, C. IoMT based Efficient Vital Signs Monitoring System for Elderly Healthcare Using Neural Network. International Journal of Research Vol.: VIII, Issue: I, pp. 239-245, 2019.
- [12] Raji, A., Devi, P. & Jeyaseeli, P. Respiratory monitoring system for asthma patients based on IoT. Online International Conference on Green Engineering and Technologies Proceedings. Coimbatore, India. Nov., pp. 1-6, 2016.
- [13] Rizal, A. & Riyadi, M. FPGA-based system for continuous monitoring of three vital signs of human body. 2nd International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering Proceedings. Semarang, Indonesia. Oct., pp. 221-226, 2015.
- [14] Traverser, G., Ciccirelli G. & Schwartz S. Physiologic Status Monitoring via the Gastrointestinal Tract. Plos One, pp. 1-13, 2015.
- [15] Saha, H., Paul, D. & Chaudhury, S. Internet of Thing based healthcare monitoring system. 8th IEEE Annual Information Technology, Electronics and Mobile Communication Conference Proceedings. Vancouver, BC, Canada. Oct., pp. 531-536, 2017.

- [16] Ramírez-López, L., Marín-López, A. & Rodríguez, A. Aplicación del Internet de las Cosas en la salud: caso en la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica. *Ciencia y poder aéreo*, Vol. 13, No. 1, pp. 82-93, 2018.
- [17] Saraswathi, T. & Amutha, S. *IoT Based Wireless Healthcare Monitoring*. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*. Vol.: 03, Issue: 05, pp. 2016.
- [18] Shu, M., Tang, M. & Yang, M. *The Vital Signs Real-Time Monitoring System Based on Internet of Things*. 4th International Conference on Information Science and Control Engineering Proceedings. Changsha, China. July, pp. 747-751, 2017.
- [19] Sinhal, R., Singh, K. & Shankar, A. *Estimating vital signs through non-contact video-based approaches: A survey*. International Conference on Recent Innovations in Signal processing and Embedded Systems Proceedings. Bhopal, India. Oct., pp. 139-141, 2017.
- [20] Sokolovsky, P. *Lightweight asyncio-like library for MicroPython, built around native Python coroutines*, Project description: <https://pypi.org/project/micropython-uasyncio/>. June, 2019.
- [21] Srinivas, M., Durgaprasadarao, P. & Prudhvi Raj, V. *Intelligent medicine box for medication management using IoT*. 2nd International Conference on Inventive Systems and Control Proceedings. Coimbatore, India. Jan., pp. 32-34, 2018.
- [22] Terán-Flores, E. *Sistema de monitoreo remoto y visualización para dispositivos de análisis de signos vitales orientados a e-health*. <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/20476>. 2019.
- [23] Tseng, C. & Lin, Y. *24-GHz Self-Injection-Locked Vital-Sign Radar Sensor With CMOS Injection-Locked Frequency Divider Based on Push–Push Oscillator Topology*. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*. Volume: 28, Issue: 11, pp. 1053-1055, 2018.
- [24] Wang, G., Han, H. & Kim, S. *Wireless Vital Sign Monitoring Using Penetrating Impulses*. *IEEE Microwave and Wireless Components Letters* Volume: 27, Issue: 1, pp. 94-96, 2017.