

Smart IoT Campus: Creación de un ecosistema de Internet de las Cosas en el edificio Docencia 1 de la UT de Tijuana usando ThingsBoard

César Ortega-Corral, Florencio López-Cruz, María del Carmen Vargas-García

Universidad Tecnológica de Tijuana. Carretera libre Tijuana-Tecate Km. 10 Frac. El Refugio, Tijuana, B.C. 22253. México.
cesar.ortegac@uttijuana.edu.mx, florencio.lopez@uttijuana.edu.mx

Resumen

Se presenta el esfuerzo inicial de crear un ecosistema de dispositivos de Internet de las Cosas (o IoT, del inglés “Internet of Things”), para medir variables ambientales del entorno y del uso de los espacios cerrados de un edificio de la universidad. La intención es mostrar los datos en tableros virtuales de la plataforma abierta de IoT llamada Thingsboard; esto para determinar el comportamiento de los usuarios en el uso de los recursos del edificio; para lo cual se integraron dos nodos WiFi de IoT prototipos, denominados: el *nodo alfa* y el *nodo beta*. El *nodo alfa* está construido alrededor del microcontrolador ESP8266 12E; este nodo inicial tiene conectados sensores que miden temperatura y humedad relativa del aire, así como la actividad de lámparas, y la detección del estado de una puerta -abierta o cerrada-. Por otro lado, el *nodo beta*, está integrado por el microcontrolador sucesor llamado ESP32, que además de tener conectados el mismo tipo de sensores anteriores, también tiene agregados dos sensores de calidad del aire: (1) un sensor laser que mide la densidad de partículas de polvo, y (2) un sensor infrarrojo que detecta la concentración de dióxido de carbono (CO₂). Los datos generados por ambos nodos se codifican en mensajes y se envían, a través de un ruteador inalámbrico, a Thingsboard; donde los datos se decodifican, se almacenan temporalmente en la plataforma, y se presentan al usuario en páginas web que contienen paneles virtuales de IoT hechos a la medida, con el fin de facilitar la toma de decisiones sobre el uso de las instalaciones del edificio universitario.

Palabras clave—Internet de las cosas, ubicuo, tablero virtual.

Abstract

We present the initial effort to create an Internet of Things (or IoT) device ecosystem, that measures environmental variables and user access to the closed spaces of a university building. The intention is to display the data on virtual dashboards on the open IoT platform called Thingsboard; this will determine the behavior of users in the use of the building's resources; for which two prototype IoT WiFi nodes were integrated, called: the alpha node and the beta node. The alpha node is built around the ESP8266 12E microcontroller. This initial node has sensors that measure the air's temperature and relative humidity, as well as lamp activity, and the detection of the state of a door -open or closed-. On the other hand, the beta node is integrated by the successor microcontroller called ESP32, which in addition to having the same type of previous sensors connected, also has two air quality sensors added: (1)

a laser sensor that measures the density of dust particles, and (2) an infrared sensor that detects the concentration of carbon dioxide (CO₂). The data generated by both nodes is encoded into messages and sent to Thingsboard through a wireless router; where the data is decoded, temporarily stored on the platform, and presented to the user on web pages containing custom-made IoT virtual dashboards, to facilitate decision-making about the use of the university building facilities.

Keywords— Internet of things, IoT, virtual dashboard

1. INTRODUCCIÓN

En Internet de las cosas los sistemas ambientales inteligentes (o del inglés, “Smart Ambient Systems”) se ocupan mayormente en hacer mediciones de variables ambientales y de aforo de espacios cerrados o abiertos, que son de uso común [1]. En el caso de una institución educativa, se podría tratar de espacios tales como aulas de clases, biblioteca, talleres y laboratorios, así como de oficinas, cubículos, almacenes y sitios de comunicaciones. Al medir variables ambientales básicas, (como lo son: temperatura, humedad, luz, y presencia, etc.) se puede inferir de modo indirecto para determinar el uso que se le están dando a dichos espacios comunes. Por ejemplo, si en un laboratorio de computación se detecta luz fuera de las horas de clase y sin detectar presencia IR, y en horario nocturno, se puede inferir que las luminarias están activas sin propósito; lo cual implica un gasto innecesario y desperdicio de los recursos. De la misma manera al medir la temperatura, esto puede arrojar información con respecto al uso del sistema de aire acondicionado, al denotar cambios bruscos de temperatura. Así mismo, si se detectan las ventanas y/o las puertas abiertas mientras están activados los aparatos de aire acondicionado, implica un riesgo a que los equipos de enfriamiento fallen por su operación excesiva, y en cuyo caso se podría implementar alguna alerta dirigida al personal responsable de la infraestructura para que mitiguen el posible daño. En general, los datos obtenidos de un sistema ambiental después de su análisis profundo se convierten en información que resalta comportamientos, tal que permitirá tomar decisiones basadas en hechos y datos concretos para la gestión del uso de las instalaciones de la institución.

PROBLEMÁTICA

En ocasiones, los espacios comunes de una institución educativa, tales como laboratorios y talleres, se les da un mal uso cuando se emplean de manera indiscriminada, sin un adecuada supervisión y control [2][3]. Un ejemplo del mal uso de los espacios cerrados es en el consumo innecesario de energía de luminarias que quedan encendidas luego de que se abandona un aula o que se deja vacío un laboratorio [4]. Ocurre también cuando se quedan activas las luminarias fuera de las horas de trabajo al cerrar el edificio. Este consumo innecesario de energía eléctrica impacta en el recurso para sufragar el gasto, el cual se podría asignar a otro rubro del presupuesto.

Otro aspecto importante a considerar tiene que ver con las consecuencias de la pandemia del COVID-19 [5], que se reflejan en algunas medidas preventivas que aún son vigentes de la denominada “sana distancia”. Tal es el caso de que se recomienda una ventilación adecuada en los espacios cerrados en presencia de varias personas; lo cual no siempre es posible, pues un laboratorio académico con equipos electrónicos debe estar libre de polvo significativo, por ende se deben mantener cerradas las ventanas y puertas en todo lo posible, pues el exterior es fuente de polvo y partículas aéreas. La opción es activar la ventilación artificial que puede traer otro tipo de partículas que desencadenan alergias.

En la actualidad se ha investigado sobre la relación que podría existir entre falta de ventilación en espacios cerrados concurridos y contagios de enfermedades respiratorias [6]. Tal es el caso cuando un grupo de personas se reúnen en un salón cerrado, tal que el aire se respira por varias personas, y se vuelve a respirar, y se va consumiendo el oxígeno, mientras se desplaza por bióxido de carbono (CO₂) resultado de la respiración, debido a las exhalaciones de las personas reunidas. Por lo que la cantidad de CO₂ en una reunión es un indicador indirecto de qué tanto se ha respirado dicho aire y la posible presencia de carga viral dispersa significativa en el aire respirado. En este caso, se infiere que el aforo es un factor determinante en la calidad del aire que se respira, por lo que medir el aforo es una fuente de información para la gestión en el uso de los espacios, y selección de alternativas de ventilación.

Dado lo anterior, con un ecosistema de nodos sensores del entorno se puede determinar información oculta en los datos que se recopilan, sobre la manera de cómo se usan los espacios comunes. Por ejemplo, en el análisis sobre su uso durante

horas pico de las clases, o durante el desarrollo de proyectos en sesiones extra-clase.

2. METODOLOGÍA

Se decidió iniciar el ecosistema de IoT en el Edificio llamado Docencia 1, de la UT Tijuana, el cual es el edificio en el que se fundó la universidad. Por su antigüedad, en su construcción no se consideró incorporar ductos o canastillas para redes de datos, mucho menos las condiciones adecuadas para una comunicación WiFi eficiente; los muros son gruesos y de hormigón, lo cual implica un reto para las comunicaciones inalámbricas. En la figura 1 se muestra el croquis de la planta baja de Docencia 1. Hay varios parámetros que afectan a la comunicación inalámbrica, varias fuentes de atenuación de señales electromagnéticas (EM), como lo son los muros gruesos de concreto colado con vigas de acero, y una serie de armarios metálicos de los alumnos, dispuestos a los costados del pasillo, así como materiales metálicos reflectores como parte de la estructura del plafón del techo interior de la planta baja.

En la planeación, la actividad inicial fue hacer un levantamiento de requerimientos [7], con base a los espacios de interés donde conviene hacer el monitoreo, para lo cual a partir del plano o croquis de la planta baja del edificio Docencia 1, se seleccionaron los sitios iniciales. Por lo que es importante hacer una valoración de la propagación inalámbrica en los espacios designados [8]; esto se facilita mediante el uso de instrumentación, ya sea usando algún dispositivo profesional como lo es un analizador de redes inalámbricas, o por lo menos usando una aplicación que se pueda descargar en un teléfono móvil. Es decir, se puede aprovechar cualquier dispositivo que tenga la capacidad de



Fig. 1. Plano de la planta baja del edificio Docencia 1, de la UT Tijuana.

valorar el radio espectro en el rango de frecuencias del WiFi para determinar ganancias en los enlaces, y qué puntos de acceso están disponibles que tengan una buena calidad de conexión.

Se decidió por practicidad que el lugar para iniciar el ecosistema sería implementando el primer nodo de IoT en el espacio designado por la letra E, en la Fig. 1, dado que es el Taller de IoT; la razón es que ahí se facilita observar el comportamiento del nodo, corregir cualquier falla en hardware y su instalación, así como depurar el nodo prototipo en el sitio de trabajo. También se seleccionó colocar un segundo nodo a la entrada del espacio C, el Laboratorio de Computación 1, dado que es el que tiene mayor aforo de estudiantes, y por lo cual tendría dos sensores adicionales de calidad del aire.

Antes de la selección de los espacios ya se tenía avance en el nodo prototipo, basado en el ESP8266 12E [9]. Una vez seleccionado el segundo espacio de monitoreo, se decidió hacer un segundo nodo prototipo, pero esta vez basado en el sucesor ESP32 [10], aumentando sus sensores midiendo partículas de polvo y CO₂ en el aire.

3. NODOS INALÁMBRICOS DE SENSORES

Aquí se considera que el ecosistema de nodos de IoT es heterogéneo debido a que se forma de múltiples tipos de nodo, por un lado, por la naturaleza de cómo será aplicado cada nodo; y por otro lado, porque las tecnologías avanzan a pasos vertiginosos, lo que hace que en poco tiempo se oferten dispositivos digitales con mayor sofisticación y rendimiento a costo reducido o igualado al costo de dispositivos de generaciones anteriores. Es el caso de módulos microcontroladores con WiFi, de la empresa Espressif Systems, de las generaciones el ESP8266. Y después, con la siguiente generación: el ESP32, que además de WiFi también emplea un transceptor Bluetooth, para conexiones PAN (del inglés “Personal Area Network”). Así mismo, en tecnologías de sensores ocurre de forma equivalente, pues cada vez aparecen en el mercado, a menor costo, sensores con interfaz digital que son más rápidos y precisos que los sensores analógicos tradicionales.

En este proyecto, el dispositivo de IoT que se desarrolló para hacer la prueba de concepto, se centra en el módulo ESP8266 12E, y se le denomina **Nodo Alfa**; tiene conectados tres sensores: el sensor combinado DHT11 [11] de temperatura y humedad relativa, un foto-resistor y un switch magnético [12]. El foto-resistor se conecta en un arreglo de divisor de voltaje, cuya salida se conecta al A0 del ESP8266 [13]. Y el tercer sensor es del tipo Reed magnético para detectar actividad de una puerta (o ventana), el switch de alarma de puerta se tiene en una conexión con un resistor aterrizado. El nodo alfa a bloques se muestra en la Fig. 2.

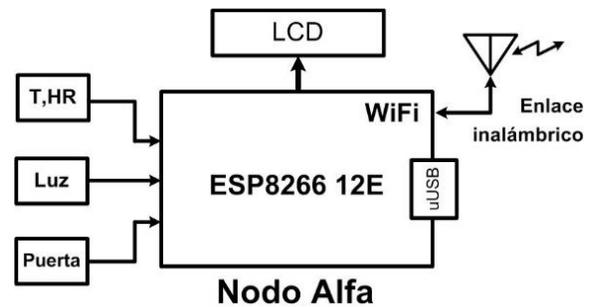


Fig. 2. El Nodo Alfa se conecta por WiFi y dispone de una pantalla LCD

Por otro lado, al optar por incluir más parámetros de medición, se consideraron las características de los espacios y el uso que se le da. Por lo que se decidió en seguir midiendo las variables de los sensores conectados al Nodo Alfa, e incluir dos variables relevantes más: densidad de polvo en el aire y bióxido de carbono (CO₂). La selección de medir polvo es debido a que es una sustancia que afecta adversamente a los equipos electrónicos de cómputo y de comunicaciones [14]. En cuanto a la necesidad de medir CO₂, se justifica dado que los espacios de un edificio educativo tienen una cantidad considerable de aforo, se congregan grupos de varias a muchas personas en espacios cerrados [15]. Incluso, multitudes de personas se llegan a reunir en lugares como audiovisuales y auditorios. Y debido a que se prevé la necesidad de requerir más recursos para más conexiones entradas y salidas disponibles en el módulo microcontrolador, se decidió optar por el ESP32 Dev Kit 1 [16], con la idea de incorporar los sensores de calidad del aire, una posible expansión de switch de puertas y ventanas, e incluso sensores ópticos de aforo. En la Fig. 3 se muestra a bloques el Nodo Beta y los sensores que inicialmente tiene conectados.

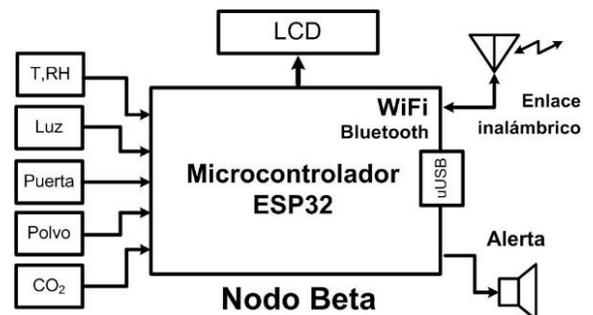


Fig. 3. Al Nodo Beta se le incorporan sensores de calidad del aire, para espacios cerrados.

En ambos casos, la comunicación de los nodos de IoT se realiza mediante WiFi para tener salida de datos al Internet por algún Gateway, y así enviar mensajes al servicio que proporciona los medios para mostrar los datos al usuario final. En este caso, se trata de la plataforma llamada Thingsboard Community, que se explicará más adelante.

El LCD (*Liquid crystal display*) que se aplica tiene un convertidor I2C, por lo que se reducen las líneas de conexión a cuatro: +5V, GND, SDA y SCL. Los sensores utilizados se listan en la tabla 1.

Los primeros tres sensores son comunes a ambos nodos Alfa y Beta, por lo cual se comparte el código para la adquisición de los datos de temperatura, humedad relativa y nivel de luz; así como el algoritmo que atrapa el evento de abrir o cerrar una puerta es el mismo. Para el caso de los sensores de calidad de aire, el PMS7003 [17] y el mh-z19b [18], la comunicación requerida es mediante comunicación serie a nivel TTL, por lo que se aprovechan los mayores recursos de hardware que ofrece el ESP32, implementando un puerto serie por hardware y otro mediante software. Se emplearon dos reguladores de 1A, de 5 volts en paralelo en cada nodo para alimentar a ambos sistemas, obteniendo una corriente máxima de 2A. Con lo que se aprovechó el voltaje de +5V DC para energizar a los sensores, excepto el LDR dado que se alimentó su divisor de voltaje con +3.3V DC del regulador a bordo de los módulos ESP.

Tabla 1. Sensores empleados en los nodos de IoT.

Sensor	Variable	Tipo	Conexión
DHT11/DHT22	°C Celsius % de HR	Digital	+5V, GND, Data
LDR5528	Intensidad luminosa	Analógico	ADC: +3.3V, GND en divisor de voltaje
MC-38	Interruptor (switch) magnético de puerta	Digital	GPIO, Resistor a GND
PMS7003	ug/cm ³ de polvo	Serie	TX, RX, +5V, GND
mh-z19b	ppm de CO ²	Serie	TX, RX, +5V, GND

En la actualidad, la forma más práctica para enviar datos estructurados es codificándolos en JSON (*JavaScript Object Notation*) [19], donde los datos son expresados en pares tipo llave:valor (*key:value*) separados por comas, y encerrados entre llaves { } para definir al mensaje como un objeto. Ya si

llevará una estructura de datos en una colección o arreglo se emplean corchetes [] con los valores separados por comas. Un ejemplo de un mensaje generado por el **Nodo Alfa** es el siguiente:

```
{ "n": "010001",
  "ToC": 21, "RH": 53, "Lux": 67, "state": 0 }
```

En el mensaje del **Nodo Alfa**, solo lleva datos de los sensores básicos: “n”:”10001” que es la identificación del nodo, “ToC” temperatura de 21 grados Celsius, “RH” humedad relativa al 53%, “Lux” de 67 de 1024 valores discretos, “state” el estado de la puerta (0 es “cerrada”, 1 es “abierta”). Por otro lado, para el caso del **Nodo Beta** el mensaje JSON tiene más datos, un ejemplo de dicho mensaje se muestra a continuación:

```
{ "n": "010002",
  "ToC": 19, "RH": 60, "Lux": 700, "state": 1,
  "CO2": 1000, "dust": 20 }
```

En el mensaje del **Nodo Beta**, también los integran los datos de: ppm de bióxido de carbono y la cantidad de ug/m³ de polvo detectado.

En la Fig. 4 se muestra la integración de los elementos del sistema de IoT de extremo a extremo, donde los nodos (ubicados en el edificio de Docencia 1) toman mediciones periódicamente, o reaccionan a eventos, y envían los datos adquiridos en mensajes estructurados a ThingsBoard, para su ingesta y almacenamiento temporal. Los usuarios entonces acceden a la aplicación correspondiente para visualizar los datos y eventos generados.

4. SMART IoT CAMPUS EN THINGSBOARD (TB)

Como ya se mencionó, para que sirva de interfaz con el usuario se seleccionó usar ThingsBoard [20], la cual es una plataforma de IoT de código abierto para la recopilación, el procesamiento, la visualización y la gestión de dispositivos de datos heterogéneos. Hay tres versiones: (1) TB Community, (2) TB Professional, y (3) TB Cloud. En este trabajo se aprovecha Thingsboard Community por ser

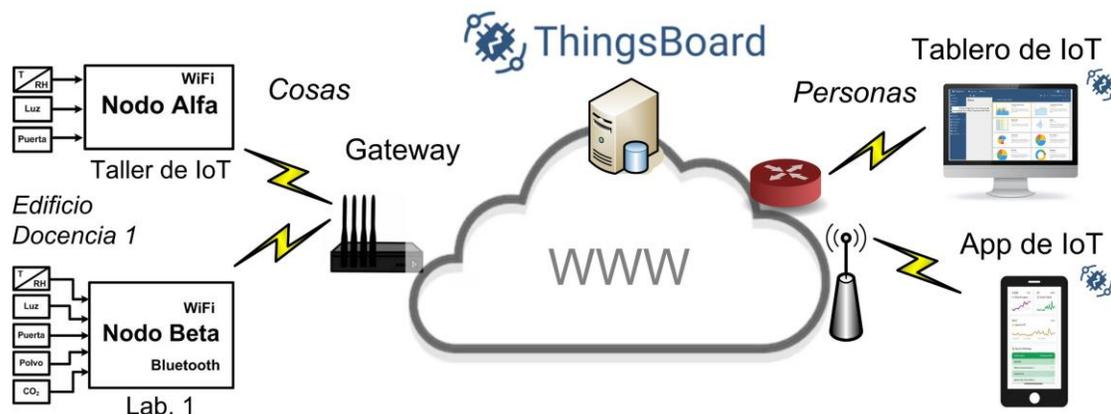


Fig. 4. Sistema de Smart IoT Campus de extremo a extremo.

gratuito para propósitos académicos y de evaluación; aunque tiene limitaciones con respecto a las otras dos distribuciones que incurren en un costo de alojamiento en la nube, o licencia para instalarse en una red privada.

TB Community tiene presencia gratuita en la nube, y se accede a través del portal cuyo dominio es <https://demo.thingsboard.io/login>. Al registrarse a la plataforma permite seleccionar el lenguaje y acceso al ambiente de gestión para configurar usuarios y recursos para recibir datos desde nodos remotos, y de diseñar y operar paneles virtuales o “dashboard” de forma personalizada. En la Fig. 5 se muestra la arquitectura de TB, se observa la interacción de los dispositivos de IoT que se conectan y comunican ya sea mediante el tradicional HTTP (HyperText Transfer protocol) o usando un protocolo llamado MQTT (Message Queuing and Telemetry Transport) [21], aquí cabe mencionar que MQTT ya es un estándar aceptado por el IEEE para el IoT. A partir de un motor de reglas se hace la ingesta de los mensajes que se colocan en la cola de mensajes correspondiente, para que los reciba el bloque de servicios centrales desde donde se interactúa con las bases de datos y con los usuarios a través de tableros o “dashboards” hechos a la medida de la aplicación.

Así mismo, todas las versiones de ThingsBoard tienen las mismas características básicas, por lo que su menú es muy similar, el TB Community se muestra en la Fig. 6, donde se tienen las opciones: Alarmas, Paneles, Entidades, Perfiles, Clientes, Cadenas de Reglas, entre otras. Para crear un “Dashboard” (o Panel), primero se deben generar los datos para poder asociarlos a controles virtuales llamados “widgets”, que aparecerán en dicho Panel [22]. Por lo que primero se debe crear la abstracción del Dispositivo de IoT para recibir los datos. En la opción de *Entidades* es donde aparece la opción de *Dispositivos* (Fig. 6), junto con *Activos* y *Vistas de entidad*. Al seleccionar *Dispositivos* aparecerá una tabla donde se listan (si es que hay alguno ya configurado).

Para agregar Dispositivos nuevos se oprime en el ícono del signo más que aparece en la esquina superior derecha de la ventana, como lo muestra la Fig. 7.

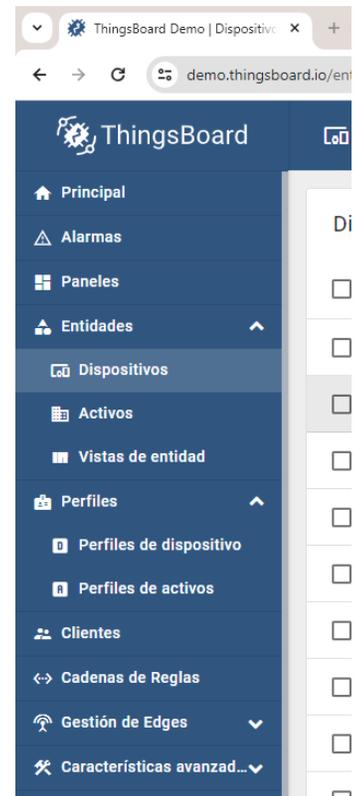


Fig. 6. Menu principal de ThingsBoard.

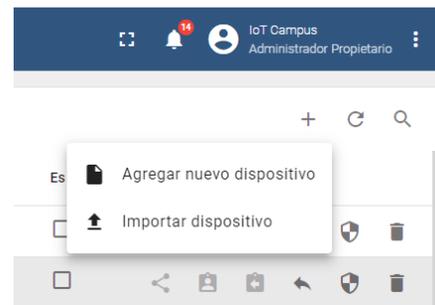


Fig. 7. Además de poder agregar nuevos dispositivos, también se puede importar un dispositivo predefinido o que se copió de otro.

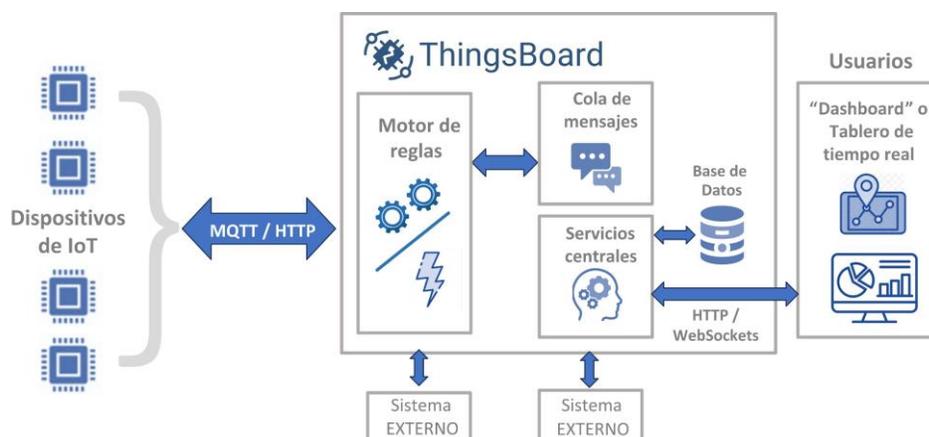


Fig. 5. Arquitectura de ThingsBoard, además de HTTP también permite MQTT para el transporte de la telemetría [23].

Según el paradigma de TB, un usuario (con los permisos adecuados) debe definir el dispositivo virtual que representará al dispositivo del mundo real, el cual se identifica mediante un *Token de acceso* que se genera de forma aleatoria (Fig. 8), o que el usuario puede personalizar, con la recomendación de que sea de 10 o más caracteres.

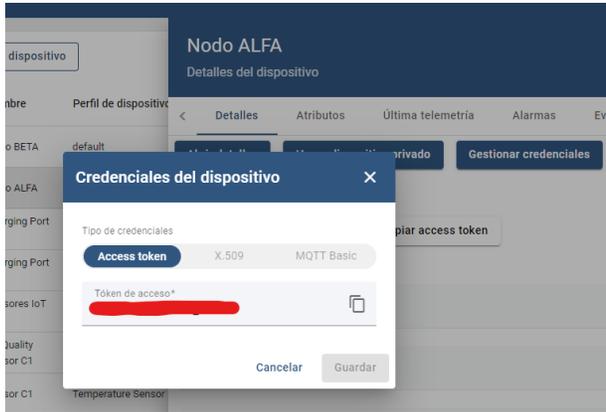


Fig. 8. Personalización del Tóken de Acceso de TB, en la opción de Gestionar credenciales.

Cuando TB recibe los mensajes, su motor de reglas o “rule engine” extrae los datos codificados, y los valores recientes se muestran en la opción de *Última telemetría* del Dispositivo. Estos se pueden seleccionar y canalizar a “widgets”, que toman la forma de instrumentos virtuales, y sirven para mostrar de diversas maneras los valores recibidos (sea en tablas y tarjetas de metadatos, en indicadores análogos o digitales, o en gráficas de líneas, barras, pastel, etc). Dichos “widgets” se colocan en un Panel o tablero ya creado, y se tiene la opción de crear en el momento de generar el “widget”.

Paneles de Smart IoT Campus

El primer panel que se desarrolló fue el del Nodo Alfa, con el propósito de probar diferentes indicadores, éste se muestra en la Fig. 9. Se nota que se incluyeron tres indicadores diferentes para mostrar temperatura, esto fue al inicio un ejercicio didáctico, para conocer las formas diferentes de configuración de acuerdo con el tipo de “widget”. De la misma manera se incluyeron dos indicadores diferentes para mostrar humedad relativa del aire. Además, ambas variables medidas se presentan en gráficas históricas, en la Fig. 9 fueron fijadas los últimos 7 días de observación, lo cual se puede ajustar desde el ícono del reloj en la esquina superior derecha de la ventana del panel.

Para el caso de detección de actividad de luminarias, dado que no se optó por usar sensores de corriente para medir su estado, se decidió colocar el sensor de luz dentro de la caja de la lámpara para recibir la luz directamente sobre el sensor, con los valores extremos que se miden en ambos estados ON/OFF, en la tarjeta del panel que indica “Estado de las Luminarias” se le incluyó un pequeño script para modificar el texto de la tarjeta de “Apagadas” a “Prendidas”, y viceversa, por lo que la detección es por inferencia a partir de extremos. En la Fig. 10 se muestra habilitada la ventana de ajuste de datos de una de las variables entrantes en TB, donde se puede incluir JavaScript para filtrar los datos o detectar eventos a partir de los datos. En este caso, se determina el estado de las luminarias a partir de valores discretos del sensor de luz. Para el caso del estado de la puerta también se optó por una tarjeta que indique los estados “ABIERTA” o “CERRADA” para facilitar la interpretación por una persona.

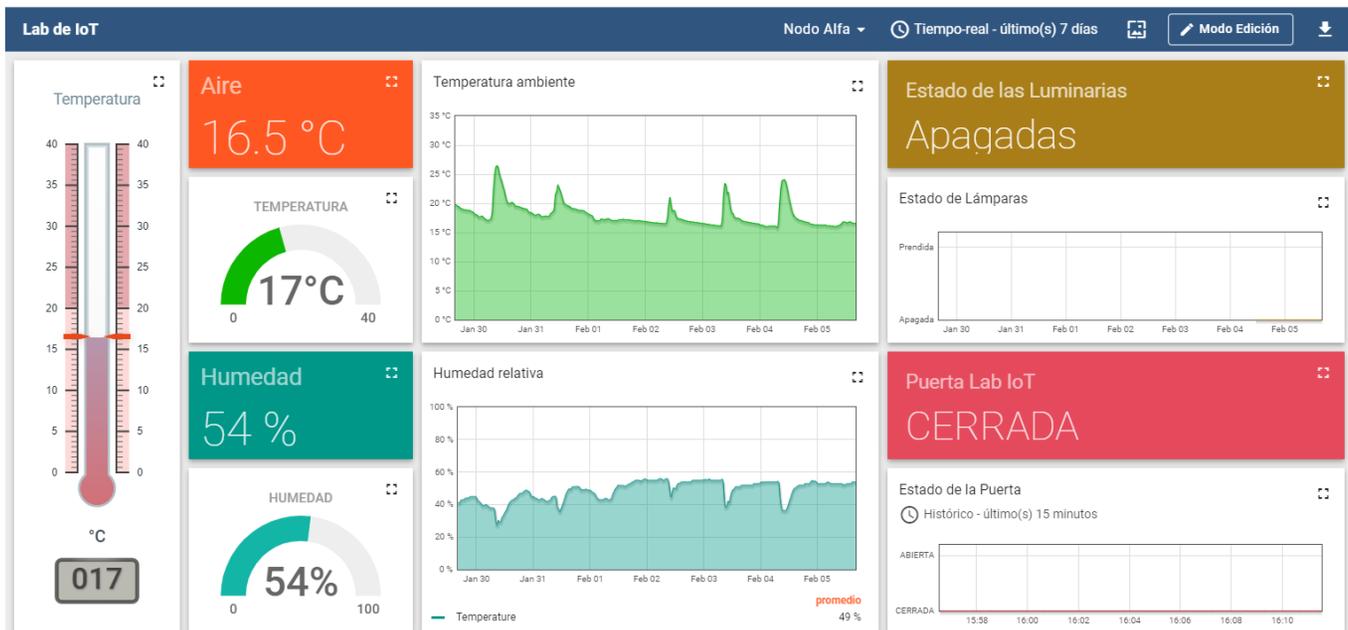


Fig. 9. Panel del Laboratorio de IoT, mediciones hechas por el Nodo Alfa.

```

 Usar función de post-procesamiento de datos

function (time, value, prevValue, timePrev, prevOrigValue) {
1- if (value > 700) {
2-     return 'Prendidas';
3- } else if (value < 400) {
4-     return 'Apagadas';
5- }
}
    
```

Fig. 10. Ventana de Ajustes de Datos de sensor de luz, “value” es la palabra reservada del dato entrante

```

1- if (value === 'OPEN') {
2-     value = 'ABIERTA';
3- } else if (value === 'CLOSED') {
4-     value = 'CERRADA';
5- }
6- return value;
    
```

Fig. 11. Ajustes de datos del estado de la Puerta, “value” es la palabra reservada del dato entrante.

Nótese que a lo largo de la configuración del Panel del Nodo Alfa, se trató de un ejercicio didáctico, para depurar y ampliar el Panel del Nodo Beta que se muestra en la Fig. 12.

En dicho Panel propiamente del Laboratorio de Cómputo 1, se organiza en tarjetas o “Cards” (como le llaman en TB) y en gráficas intercaladas de mediciones históricas en gráficas de líneas sombreadas. Las tarjetas son etiquetas de colores

llamativos con que se presentan los datos, en este caso se optó por datos colocar el rótulo de la variable en fuente de tamaño reducido comparado con los valores medidos. También en el Panel de la Fig. 12, se muestran variables adicionales como lo es el CO₂ y Densidad del polvo. De igual manera, se muestran sus valores en tarjetas y en gráficas históricas, una de línea para el CO₂ y otra gráfica de barras para el polvo midiendo microgramos por metro cúbico.

Las tarjetas permiten interpretar los datos con facilidad, y a partir de las gráficas se puede determinar cierto comportamiento de los usuarios de los espacios cerrados, dado que en ocasiones la actividad de la puerta de un espacio cerrado está correlacionada con la actividad de luminarias accionadas por las personas, especialmente si es un espacio con un aforo considerable, como lo puede ser una sesión de clases en un laboratorio de informática, como se observa en la actividad del *Estado de Lámparas* y *Estado de la Puerta* del Panel de la Fig. 12.

Indicador de polvo

Con respecto al uso del sensor de polvo de 2.5, es por la necesidad de conocer la calidad del aire de acuerdo con el efecto que pueda tener en los equipos electrónicos y en la salud, por lo que el polvo es un factor a considerar, sea en un laboratorio de computadoras o en un sitio de comunicaciones, como lo es un armario de equipos de red. Para el caso de la salud, la OMS (Organización Mundial de la Salud, o WHO del inglés *World Health Organization*) emitió información que se muestra en la Tabla 2 [24].



Fig. 12. Panel del Laboratorio 1, mediciones hechas por el Nodo Beta.

Tabla 2. Calidad relativa de aire debido al polvo PM2,5

Estado de Calidad del Aire	PM2,5 (ug/cm ³)
Muy Bueno	0 – 10
Bueno	11 – 20
Regular	21 – 25
Malo	26 – 50
Muy Malo	51 - 800

Indicador de CO₂

La incorporación del sensor de CO₂ tiene la intención de que sirva como un indicador de la calidad del aire en espacios cerrados, donde el aforo puede ser considerable; esto es que al estar un grupo de personas en un lugar cerrado, con posible falta de circulación del aire, hace que se respire varias veces el mismo ambiente, lo que se reflejaría en una elevación del nivel de CO₂. Algunos han sugerido [25] que la utilidad de conocer el nivel de CO₂ es de que sirve para emitir alguna alerta preventiva, como para tomar medidas y mitigar los efectos nocivos, pero sobre todo porque en la actualidad ese aire respirado puede portar entes contagiosos como el COVID-19. Los niveles de CO₂ estudiados en relación con los efectos en la salud se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. de niveles relativos de CO₂

ppm de CO ₂	Nivel relativo CO ₂ , según riesgo
ppm < 1000	Normal
1000 < ppm < 2000	Bajo (ventilar)
2000 < ppm < 3000	Alto (ventilar, abandonar sala)
3000 < ppm < 4000	Muy Alto
4000 < ppm	Extremadamente alto

Con dichos niveles conocidos (de la Tabla 3) se podría hacer un “Semáforo” de CO₂ para alertar a los presentes los espacios cerrados del edificio sobre los estados posibles de afectación.

5. CONCLUSIONES Y TRABAJO A FUTURO

En este trabajo se presentó el inicio de un ecosistema de dispositivos de IoT, con el objetivo de hacer las pruebas de concepto necesarias para determinar las capacidades de la plataforma de IoT seleccionada para que sirva de interfaz con el usuario. En este caso se trata del uso de ThingsBoard Community en la nube, servicio gratuito para propósitos de evaluación y experimentación.

La implementación del nodo inicial permitió establecer el enlace de extremo a extremo con ThingsBoard, entregando la telemetría para integrar el panel o “dashboard” respectivo, sobre el cual se diseñaron las tarjetas de información y las gráficas históricas de datos. Aprovechando que en TB es posible integrar pequeños scripts para el filtrado e interpretación de los datos, se pudieron incluir algoritmos sencillos que detectan el estado de las lámparas y la puerta.

El segundo nodo de IoT, con sensores ampliados de calidad del aire, sirvió para aumentar la abstracción de la inferencia

de información a partir de los datos, y esto considerando los rangos que definen los niveles relativos de afectación de la calidad del aire sobre equipos y personas. Lo cual aún es trabajo pendiente en precisar en forma de alertas preventivas por elevada concentración de polvo, así como de un semáforo de niveles de CO₂. Por lo anterior, como trabajo futuro se tiene en prioridad integrar el Semáforo de CO₂, de acuerdo con valores documentados, para advertencias en los laboratorios y aulas.

6. REFERENCIAS

- [1] Ricciardi, Sergio & Amazonas, Jose & Palmieri, Francesco & Bermudez-Edo, Maria. (2017). Ambient Intelligence in the Internet of Things. Mobile Information Systems. 2017. 1-3. 10.1155/2017/2878146.
- [2] Gomez, Carles et al. ‘Internet of Things for Enabling Smart Environments: A Technology-centric Perspective’. 1 Jan. 2019 : 23 – 43.
- [3] Cavus, Nadire & Mrwebi, Seipati & Ibrahim, Imran & Modupeola, Temiloluwa & Reeves, Albert. (2022). Internet of Things and Its Applications to Smart Campus: A Systematic Literature Review. International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM). 16. 17-35. 10.3991/ijim.v16i23.36215.
- [4] Moura, P.; Moreno, J.I.; López López, G.; Alvarez-Campana, M. IoT Platform for Energy Sustainability in University Campuses. Sensors 2021, 21, 357. <https://doi.org/10.3390/s21020357>
- [5] Ndiaye M, Oyewobi SS, Abu-Mahfouz AM, Hancke GP, Kurien AM, Djouani K. IoT in the Wake of COVID-19: A Survey on Contributions, Challenges and Evolution. IEEE Access. 2020 Oct 12;8:186821-186839. doi: 10.1109/ACCESS.2020.3030090. PMID: 34786294; PMCID: PMC8545289.
- [6] Mumtaz, Rafia & Zaidi, Syed & Shakir, Muhammad & Shafi, Uferah & Malik, Muhammad & Haque, Ayesha & Mumtaz, Sadaf & Zaidi, Syed. (2021). Internet of Things (IoT) Based Indoor Air Quality Sensing and Predictive Analytic—A COVID-19 Perspective. Electronics. 10. 184. 10.3390/electronics10020184.
- [7] Tomás Domínguez-Bolaño, Valentín Barral, Carlos J. Escudero, José A. García-Naya. An IoT system for a smart campus: Challenges and solutions illustrated over several real-world use cases. Internet of Things, 2024, 101099, ISSN 2542-6605, <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101099>
- [8] W. Anani, A. Ouda and A. Hamou. A Survey Of Wireless Communications for IoT Echo-Systems. 2019 IEEE Canadian Conference of Electrical and Computer Engineering (CCECE), Edmonton, AB, Canada, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/CCECE.2019.8861764.

- [9] Handson Technology. User Manual V1.3, ESP8266 NodeMCU WiFi Development Board. 2023. <https://handsontec.com/dataspecs/module/esp8266-V13.pdf>
- [10] Hercog, D.; Lerher, T.; Truntič, M.; Težak, O. Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices. *Sensors* 2023, 23, 6739. <https://doi.org/10.3390/s23156739>
- [11] S. Rahmat, A. Nurdiasari, and Z. Zaenurrohman, "The Implementation of NodeMCU ESP8266 for Smart Lamp in the Cilacap State Polytechnic Campus Area", *Jartel*, vol. 12, no. 2, pp. 95-99, Jun. 2022.
- [12] Microbot. DHT11 Humidity & Temperature Sensor, datasheet. 2018. <https://www.tme.eu/Document/7a4fd48d400b8c4c8309ef1e2b13cdd4/MR003-005-1.pdf>
- [13] Adafruit. MC-38 Magnetic door switch. Datasheet, 2019. https://media.digikey.com/pdf/Data%20Sheets/Adafruit%20PDFs/375_Web.pdf
- [14] Guo, Zeyu & Ma, Xiaolin & Zhang, Pei & Liu, Zhaoyang. (2021). A dust sensor monitoring system using Wi-Fi mesh network. *Journal of Physics: Conference Series*. 1754. 012129. 10.1088/1742-6596/1754/1/012129.
- [15] Huang, Qirui & Syndicus, Marc & Ehrh, Rainer & Sacic, Amra & Frisch, Jérôme & Treeck, Christoph. (2023). Development of a CO₂ based indoor air quality measurement box for classrooms.
- [16] Debauche, Olivier & Ait Abdelouahid, Rachida & Saïd, Mahmoudi & Mousaoui, Yahya & Marzak, Abdelaziz & Manneback, Pierre. (2020). RevoCampus: a Distributed Open Source and Low-cost Smart Campus. 10.1109/CommNet49926.2020.9199640
- [17] Beijing Plantower. Digital universal particle concentration sensor. PMS7003 series data manual. 2018. https://download.kamami.pl/p564008-PMS7003%20series%20data%20manua_English_V2.5.pdf
- [18] Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. intelligent Infrared CO₂ Module (Model: MH-Z19B) User's Manual (Version: 1.0). 2016. https://www.winsen-sensor.com/d/files/infrared-gas-sensor/mh-z19b-co2-ver1_0.pdf
- [19] JSON JavaScript Object Notation. Sitio visitado el 22/12/2023. <https://www.json.org/json-en.html>
- [20] Thingsboard. Getting Started with ThingsBoard. Sitio visitado el 22/01/2024. <https://thingsboard.io/docs/getting-started-guides/helloworld/>
- [21] Thingsboard. Working with dashboards. Sitio visitado el 20/01/2024 <https://thingsboard.io/docs/user-guide/dashboards/>
- [22] Masdani, Muhammad & Darlis, Denny. (2018). A comprehensive study on MQTT as a low power protocol for internet of things application. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 434. 012274. 10.1088/1757-899X/434/1/012274.
- [23] ThingsBoard Architecture. Sitio visitado el 23/01/2024. <https://thingsboard.io/docs/reference/architecture/>
- [24] World Health Organization. WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. 22 September 2021. Guideline. ISBN: 9789240034228
- [25] Park S, Song D. CO₂ concentration as an indicator of indoor ventilation performance to control airborne transmission of SARS-CoV-2. *J Infect Public Health*. 2023 Jul;16(7):1037-1044. doi: 10.1016/j.jiph.2023.05.011. Epub 2023 May 10. PMID: 37196366; PMCID: PMC10170871.