

# Monitoreo en tiempo real de las condiciones ambientales en los laboratorios del CMF del CDT de GAS

Real time monitoring of environmental conditions in the laboratories of the CMF in the CDT of GAS

Néstor Alonso León Chaparro<sup>1\*</sup>, William Alexis Porras Calderón<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Corporación Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas, Parque Tecnológico UIS Guatiguará, km 2 vía El Refugio, Piedecuesta, Colombia.

\* Autor de contacto. Correo electrónico: [nleon@cdtdegas.com](mailto:nleon@cdtdegas.com)

## Resumen

El registro de las mediciones de condiciones ambientales tales como la temperatura termodinámica y la humedad relativa constituyen un factor importante en el proceso de calibración de equipos de medición en los laboratorios de la corporación CDT de GAS. Por tal motivo, se hace necesario monitorear y evaluar en tiempo real dichas condiciones en las diferentes áreas del Centro de Metrología de Fluidos (CMF). Para lograr dicho objetivo, se decidió implementar una solución con internet de las cosas (IoT, por su contracción en inglés) que consiste en una red de nodos sensores con tecnología inalámbrica LoRa distribuidos a lo largo de todos los laboratorios de CDT de GAS. Para tal fin, se usaron nodos sensores LSN50v2-S31, monitoreados con una puerta de enlace Conduit IP65, que también funciona como pasarela de los datos hacia la nube. Dentro de las herramientas informáticas, se dispuso de una máquina virtual que se instaló sobre la plataforma en la nube de Microsoft, denominada Azure, y para el arreglo y acondicionamiento de los datos se utilizó la herramienta de programación para conexión de dispositivos Node-Red con protocolo de comunicación LoRaWan, protocolo de red ligero de publicación y suscripción que transporta mensajes entre dispositivos (MQTT), y el protocolo seguro de transferencia de hipertexto (HTTPS). Adicionalmente, como interfaz de usuario que permite visualizar y configurar las mediciones obtenidas por cada sensor, se desarrolló una aplicación de software denominada "Monitoreo CMF" que también permite y gestiona el aseguramiento metrológico de los sensores, de manera que monitoree y garantice la validez y calidad de

## INNOVACIÓN

los resultados. Cabe destacar que, gracias al ultra bajo consumo energético por parte de los nodos, la red es autónoma energéticamente durante al menos 4 años puesto que cada nodo integra un sistema de alimentación que consta de una batería de litio-cloruro de tionilo conectada en paralelo a un supercapacitor para una pronta recuperación energética.

**Palabras Clave:** *Azure, Condiciones Ambientales, LoRaWan, MQTT, Máquina Virtual, Node-Red.*

### **Abstract**

The recording of measurements of environmental conditions such as thermodynamic temperature and relative humidity constitute an important factor in the calibration process of measurement equipment in the laboratories of the CDT de GAS corporation. For this reason, it is necessary to monitor and evaluate these conditions in real time in the different areas of the Fluid Metrology Center (CMF). To achieve this goal, it was decided to implement a solution with the Internet of Things (its contraction in English. IoT) that consists of a network of sensor nodes with LoRa wireless technology and distributed throughout all the GAS CDT laboratories. For that end, LSN50v2-S31 sensor nodes were used, and that also works as a data gateway to the cloud. Among the it tools, a virtual machine was installed on the Microsoft cloud platform, named Azure, and for the arrangement and conditioning of the data, the programming tool for connection of Node-Red devices with LoRaWan communication protocol was used, lightweight publish-subscribe network protocol that transports messages between devices (MQTT), and the secure hypertext transfer protocol (HTTP). Further, as a user interface that allows viewing and configuring the measurements obtained by each sensor, a software application called "CMF Monitoring" was developed that also allows and manages the metrological assurance of the sensors, in a way that monitors and guarantees the validity and quality of the results. It should be noted that, thanks to the ultra-low energy consumption by the nodes, the network is energetically autonomous for at least 4 years since each node integrates a power system consisting of a thionyl chloride-lithium battery connected in parallel to a supercapacitor for prompt energy recovery.

**Key Words:** *Azure, Environmental Conditions, LoRaWan, MQTT, Virtual Machine, Node-Red.*

## 1. Introducción

La calibración de equipos de medición es un proceso que implica alta complejidad a la hora de tomar y validar mediciones, y donde influyen diferentes variables de entrada como la temperatura ambiente, la humedad relativa y la presión atmosférica. Estas variables son denominadas condiciones ambientales y deben ser supervisadas y controladas de tal manera que sean apropiadas para la ejecución de las pruebas que se realizan. Internamente el CDT de GAS cuenta con una serie de procedimientos técnicos que permiten ejecutar las actividades de calibración de manera confiable y en las que se incluye una serie de consideraciones para cada área de los laboratorios.

En las áreas cerradas donde se realiza la calibración de los diferentes instrumentos bajo ensayo (medidores de gas, medidores de líquidos, termómetros, manómetros, barómetros, etc.), las condiciones ambientales controladas corresponden a temperatura del cuarto y humedad relativa. Para ello el CDT de GAS cuenta con cuartos de ensayo en los que se controla las condiciones ambientales con robustos sistemas de acondicionamiento de aire que incluyen controladores tipo PLCs que reciben información de monitoreo de las variables, a través de sensores internos a la salida del aire acondicionado. Para el caso del monitoreo de las condiciones ambientales en los cuartos de ensayo que son utilizadas para confirmar condiciones adecuadas, se utilizan equipos digitales (KESTREL 4000) distribuidos a lo largo de todos los recintos de ensayo y los cuales están configurados para memorizar los datos cada hora, esta información debe ser descargada al computador semanalmente por el responsable del aseguramiento metrológico.

Cabe destacar que los metrólogos deben verificar las condiciones ambientales durante la prestación de servicios, si en algún momento

del día las condiciones ambientales no son las adecuadas se debe informar al Líder de Área para dar una solución al problema. Si se identifica que las condiciones ambientales pueden afectar la calidad de los resultados el servicio se tendrá que detener hasta que se corrija el inconveniente.

También se realiza una descripción de un caso en particular para las áreas de calibración de volumen y caudal donde además de los lineamientos anteriormente mencionados el metrólogo debe realizar una verificación previa al inicio de la calibración, la cual consistirá en revisar los datos históricos de los registros semanales de temperatura del banco que se va a utilizar, esto con el fin de garantizar que la tendencia en la temperatura se mantenga dentro de los parámetros establecidos. Si durante la revisión se evidencia que hubo alguna eventualidad, por ejemplo, que se registraron temperaturas superiores a los límites permisibles el profesional deberá efectuar un monitoreo de la temperatura ambiente registrada durante 24 horas antes de iniciar el proceso de calibración en el banco con el fin de constatar que el control de la temperatura se encuentra en óptimas condiciones para la ejecución de servicios.

Todo esto evidencia que existe una significativa dedicación de tiempo del personal en la descarga y organización de información de los diferentes equipos digitales de recolección de condiciones ambientales y en la revisión periódica de parte de los metrólogos, la cual debería reducirse para dedicar el tiempo de los funcionarios en las tareas propias de la calibración. Por lo tanto, se plantea el desarrollo de una alternativa tecnológica para que dicho proceso sea más rápido, automático, efectivo, y además se pueda tener una monitorización constante y configurable en tiempo real en donde la información obtenida sea también más fácil de consignar y esté disponible en cualquier momento que se requiera.

## 2. Estado del arte

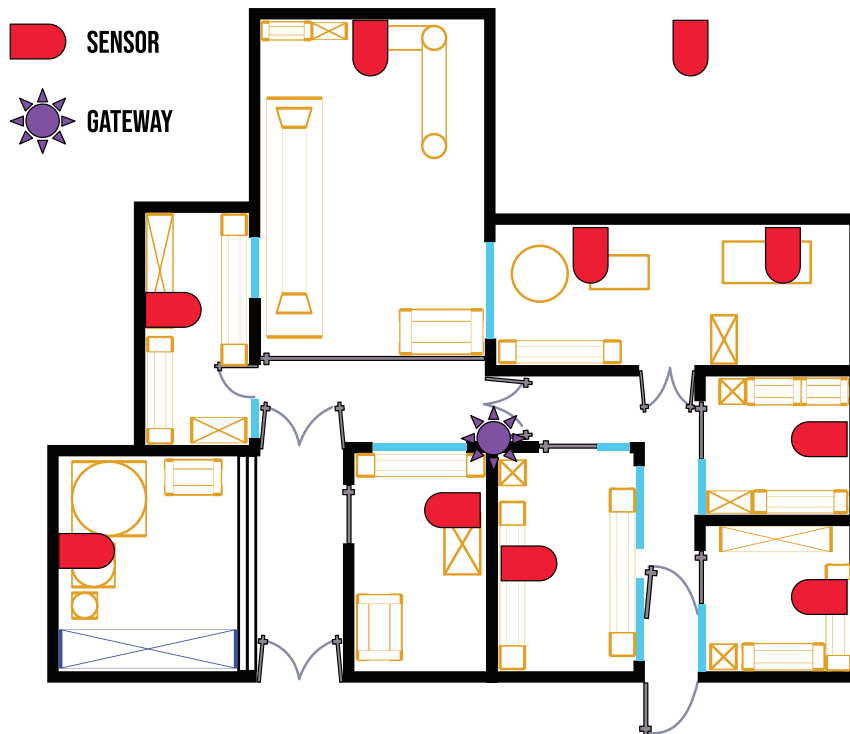
En [1], se describe el desarrollo y evaluación de un gateway móvil IoT para redes 4G LTE, donde se implementan sensores de temperatura, luminosidad y presión los cuales se integran en un dispositivo que se encarga del procesamiento de los datos y su posterior envío vía Bluetooth a un celular, y en donde se ejecuta una aplicación que realiza la función de gateway móvil. Como resultado de las pruebas se evidencia que el protocolo MQTT con respecto al HTTP tiene mejores prestaciones en latencia, consumo de energía y datos móviles al aumentar el número de solicitudes, esto se refleja en una mayor disponibilidad de batería, un menor tiempo y costo en la transmisión de información.

[2] presenta una evaluación remota del comportamiento de un invernadero ubicado en el desierto de Atacama a través de IoT. El principal nodo sensor utilizado en la red inalámbrica fue el módulo ESP8266, la transmisión de datos fue realizada por un router 3G/4G junto con una Raspberry Pi 3, y para el almacenamiento principal y la generación de graficas se usó la herramienta IoT Cloud. Como resultado del monitoreo, que se extendió durante 5 meses, se pudo constatar que las medidas de la temperatura y la humedad afectan directamente en el cultivo. Realizando un control de las variables ambientales de temperatura y humedad en el invernadero, se pudo reducir en dos meses la obtención de la producción. Finalmente, se consigna que el monitoreo de forma remota a través de sensores facilitó al productor la toma de decisiones en el ajuste de los factores que involucra cada etapa del crecimiento y producción del cultivo.

En el monitoreo de parámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IoT presentado en [3], se usó la plataforma ThingsBoard para supervisión, el hardware utilizado para los nodos sensores está constituido por un zolertia z1, el cual cuenta con un transceptor de radio

CC2420 a 2.4 GHz. Se usó como gateway otro zolertia z1 con una Raspberry Pi 3. La medición de temperatura y humedad fue realizada por el sensor DHT22, para la medición de la humedad del suelo se emplearon los módulos YL69 y YL-38, y un sensor fotosensible LM393 para determinar la incidencia de la luz solar. La topología de comunicación se configuró en modo malla. Como resultado se entregó un sistema autónomo para el monitoreo de condiciones ambientales.

En [4], se expone el desarrollo de una red LPWAN de sensores para el monitoreo de condiciones ambientales. Para el diseño de la red se usó la configuración en topología estrella. Se desarrolla un nodo-sensor que está configurado en clase A, con un envío de datos cada 15 minutos, un factor de propagación 8 y un ancho de banda de 125 kHz. Este dispositivo integra un procesador SAMD21 y los sensores DN7C3CA Sharp para material particulado, ME2-CO para monóxido de carbono, y S17021 para temperatura y humedad. El gateway es un Conduit IP65 de MultiTech, para la máquina virtual en la nube se usó el sistema operativo Ubuntu Server. Para los resultados, se realizaron pruebas de cobertura donde se validó el alcance de la comunicación LoRa, con una distancia entre el gateway y el nodo sensor de 5 km. La medición de la potencia de la señal se efectuó a dos metros sobre el nivel del suelo, dando como respuesta potencias inferiores a -95 dBm, debido a los obstáculos que interferían a la línea de vista. Otra prueba con una línea de vista sin obstáculos obtuvo potencias de la señal superiores a los -80 dBm, el punto más lejano donde se establecía la comunicación estuvo a 3.16 km desde el gateway. Aquí se puede validar que a pesar de la distancia y los obstáculos que ello trae sigue existiendo comunicación, aunque con menor intensidad, por tanto, se toma como base implementar el mismo gateway para el sistema de monitoreo de condiciones ambientales, teniendo en cuenta que la distancia en las diferentes áreas del CMF con respecto a la puerta de enlace es más corta



**Figura 1.** Ubicación y distribución de los nodos-sensores y el gateway en CMF.

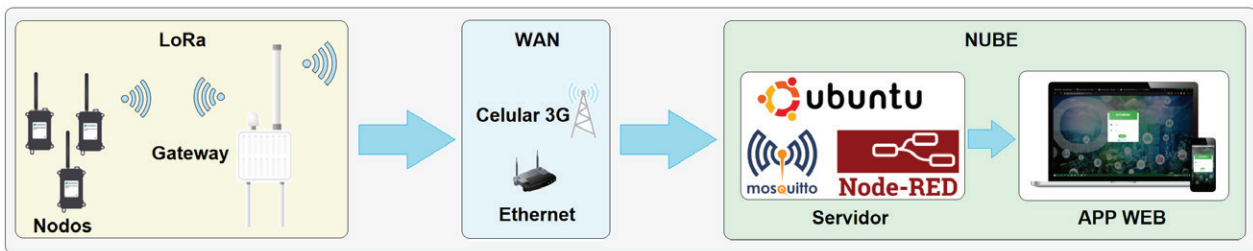
y en muchos casos sin línea de vista se tendrá buena intensidad de la señal dado que la puerta de enlace se ubicará en un lugar estratégico (en el techo de las instalaciones).

### 3. Metodología

Para llevar a cabo la implementación y desarrollo del sistema de monitoreo de las condiciones ambientales en los laboratorios del Centro de Metrología de Fluidos (CMF) del CDT de GAS, se procedió dividiendo el trabajo en una serie de etapas como sigue a continuación:

#### 3.1. Presentación de la propuesta

Se planteó una red de 10 nodos sensores con tecnología inalámbrica LoRa [5], distribuidos en las diferentes áreas del laboratorio y ubicados de manera estratégica tal y como se muestra en la Figura 1. Se propuso una topología estrella, con múltiples puntos (en este caso nodos) y un concentrador o puerta de enlace (gateway). Los nodos sensores realizan el proceso de medición de las condiciones ambientales de temperatura y humedad relativa, y la información obtenida se procesa y administra por el microcontrolador del nodo para luego ser enviada cada cierto periodo de tiempo a través del módulo LoRa integrado. Estos datos viajan inalámbricamente ha-



**Figura 2.** Diagrama del sistema IoT de condiciones ambientales propuesto para el CMF.

cia el gateway, que funciona como pasarela de la información. La información se organiza en un objeto JSON [6], para ser enviada mediante conexión LAN o celular con protocolos TCP/IP y MQTT [7] hacia el servidor donde estará instalada una máquina virtual [8] ejecutando los servicios del broker Mosquitto (encargado de gestionar la información recibida) y Node-Red [9] (para el acondicionamiento de la información, y gestión de los protocolos de comunicación). Luego la información se envía a la aplicación web integrada dentro de la plataforma del CDT de GAS llamada Gestión Metrológica de Sistemas (GEMESIS), para su posterior visualización y correspondiente tratamiento.

Se planteó el uso de tecnología LoRa para el monitoreo de las condiciones ambientales, dado que el estado del arte indica que es la más utilizada para la supervisión y control de sistemas remotos, debido a que integra un largo alcance en la distancia de comunicación a pesar de los obstáculos, una medición en tiempo real de las variables sensadas, un largo periodo de autonomía sin la necesidad de mantenimientos, y una buena relación costo-beneficio gracias a la creación de redes privadas que brinda independencia de alojamientos o servicios de terceros.

Cabe destacar que el periodo para el envío de la información desde los nodos hacia la nube es configurable desde la API WEB, y que esta operación es confirmada en el nodo una vez este se





encuentre en estado activo, ya que mientras no esté transmitiendo entra en modo sueño profundo o inactivo para reducir el consumo energético. La estructura del sistema se aprecia en la Figura 2.

## 3.2. Selección de componentes

### 3.2.1. Nodo sensor

Se realizó una búsqueda y evaluación de los nodos-sensores para medición de temperatura y humedad relativa disponibles en el mercado y que funcionen con tecnología LoRa y protocolos de comunicación LoRaWan. Se encontraron las referencias mostradas en la Tabla 1 con sus respectivas características.

De acuerdo con las especificaciones técnicas de cada uno de los sensores que integran los nodos, se optó por la adquisición del dispositivo Dragino LSN50v2-S31, ya que cuenta con una mayor precisión con respecto a sus competidores, un modo de conexión de activación por aire (OTAA) y el modo de conexión personalizado (ABP), una batería de larga duración que puede llegar a más de 4 años de vida útil dependiendo del número de mensajes enviados y recibidos diariamente, fácil configuración mediante

Nodos Sensores	Dragino LHT65	Dragino LSN50v2-S31	Sentrius RS1xx-915Mhz	URSALINK C11-T1
				
<b>Parámetros de Temperatura</b>				
Rango	De -40 °C a 80 °C	De -40 °C a 80 °C	De -40 °C a 125 °C	De -40 °C a 70 °C
Precisión	± 0.8 °C	± 0.3 °C (0 - 90°C)	± 0.4 °C (-10 °C a 85 °C)	± 0.3 (0 a 70°C), ± 0.6 (-40 a 0°C)
Resolución	0.01°C	0.01°C	0.01°C	0.01°C
<b>Parámetros de Humedad</b>				
Rango	De 0 a 99.9 % RH	De 0 a 99.9 % RH	De 0 a 80% RH	De 10% a 99.9% RH
Precisión	± 10 % RH (0 a 100% RH)	± 2 % RH (0 a 100% RH)	± 4.5% RH (80 a 100% RH)	± 5% RH (10% a 90% RH)
Resolución	0.04% RH	0.01% RH	0.01% RH	0.01% RH

**Tabla 1.** Nodos sensores de temperatura y humedad con tecnología LoRaWan.

comandos AT y posibilidad de usarlo en redes privadas o públicas, además puede operar en la banda de frecuencia AU915, la cual se despliega desde 915 MHz hasta 928 MHz, que es de carácter libre y dedicada para el tipo de tecnología IoT [10] así dispuesto por la ANE (Agencia Nacional del Espectro) en la Resolución 711 de 2016 [11]. Adicionalmente, el dispositivo cuenta con un consumo de corriente en modo sueño profundo (en el cual va permanecer la mayor parte del tiempo) de 2.7 uA a 3.3 V y en operación a 20 dBm con un consumo de 125 mA y a 14 dBm con un consumo de 44 mA según [12].

### 3.2.2. Gateway

Como puerta de enlace se cuenta con el gateway Conduit IP65 serie MTCDTIP-LEU1-266A-915 del fabricante MultiTech, que tiene las características mostradas en la Tabla 2.

### 3.2.3. Servidor y aplicación web

Para la administración de la información que se recibe en la nube, se usa la plataforma Azure del proveedor Microsoft [13], en donde corre la máquina virtual de Ubuntu server y sobre la cual se realiza la instalación del broker Mosquitto que se encarga de la gestión de los datos que se reciben desde los nodos pasando por el gateway, y desde la aplicación hacia los nodos pasando de nuevo por el gateway, además del broker, se tiene también instalada la aplicación de Node-Red que se encarga de administrar las comunicaciones con sus debidos protocolos como MQTT o HTTP [14].

En cuanto al módulo web, se aloja en una aplicación web interna del CDT de GAS para la gestión metrológica de sistemas, denominada GEMESIS.

### 3.3. Desarrollo

Se realizó la configuración de parámetros como la App EUI y la App Key, que son las credenciales de usuario y contraseña para conectar a la puerta de enlace; la clase LoRa que hace referencia al consumo energético por parte del nodo el cual soporta clase A de bajo consumo, el modo de red ya sea pública o privada, el modo de ocho

canales, el intervalo de tiempo para el envío de datos, y el modo de conexión para cada uno de los nodos, con el fin de establecer el vínculo con el gateway, todo ello mediante comandos AT proporcionados por el fabricante [15]. Para esto se dispuso de un conversor USB a serial y el software Hercules SETUP [16], que es un terminal de puerto serie (RS-485 o RS232) UDP/P y TCP/IP, y sirve para comunicarse con el dispositivo de interés. Adicionalmente, la configuración inicial del gateway ya estaba preestablecida.

<b>MTCDTIP-LEU1-266A-915</b>	
<b>Opciones red celular</b>	LTE 3GPP 100 Mbps peak downlink/50 Mbps peak uplink
<b>Bandas de frecuencia (MHz)</b>	4G: 700(B17) /850(B5) /AWS1700(B4) /1900(B2) 3G: 850(B5) /1900(B2) 2G: 850/1900
<b>Procesador y memoria</b>	ARM9 processor with 32-Bit ARM & 16-Bit Thumb instruction sets • 400 MHz • 16K Data Cache • 256 MB Flash Memory • 16K Instruction Cache • 128X16M DDR RAM
<b>Frecuencia de radio LoRa</b>	LoRa 868 or 915 MHz – a proprietary Digital Spread Spectrum technique
<b>Almacenamiento</b>	Micro SD
<b>Voltaje de alimentación</b>	Power over Ethernet (PoE) 48Vdc 25W compliant to IEEE802.3at
<b>Conectores</b>	Ethernet 1 RJ-45 Ethernet 10/100 port (PoE) Serial 1 Debug Serial: USB Micro-B Antenna Cell 3dBi (Qty2), LoRa 3dBi (Qty1), GPS (Qty 1) SIM Micro SIM (3FF)
<b>Dimensiones</b>	262 mm x 91 mm x 257 mm
<b>Peso</b>	2.75 kg
<b>Tipo de chasis</b>	IP67 Rated, Aluminum
<b>Temperatura de operación</b>	de -40° a +70° C
<b>Humedad Relativa</b>	20% to 90%, non-condensing

**Tabla 2.** Características gateway MTCDTIP-LEU1-266A-915.



Una vez los elementos del sistema están interconectados, el nodo comienza a enviar la información vía LoRa y con protocolo LoRaWan hacia el gateway. Esta información está encriptada en un objeto JSON, el cual contiene datos como la frecuencia, intensidad de la señal, el identificador del gateway y del nodo que remite, pero la más importante es la carga útil o payload, que se encuentra en formato hexadecimal y encapsula información propia del nodo-sensor, como el voltaje en la batería, la medición de temperatura y la medición de humedad. Posteriormente, la información recibida por el gateway es procesada en la aplicación de Node-Red instalada en el mismo, donde se administra y se envía al servidor mediante protocolo MQTT, vía Ethernet usando protocolo TCP/IP. En la Figura 3, se muestra el flujo en Node Red para la recepción y envío de los datos desde el dispositivo sensor y hacia la nube.

Ya en el servidor en donde se ejecuta Ubuntu server y sobre el cual están instalados y configurados previamente el broker Mosquitto, y la aplicación de Node-Red donde se crea el flujo para el tratamiento de la información recibida, este se aprecia en la Figura 4

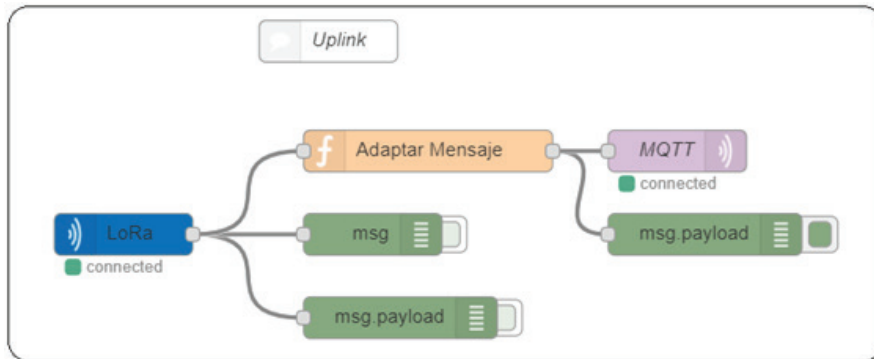
Una vez los datos se publican en el servidor, se convierten en un objeto JSON para ser tratados en la función denominada "LoRa a JSON", donde se traduce el hexadecimal que contiene la información de las mediciones de temperatura, humedad y del voltaje en la batería del nodo específico. Posteriormente, se extraen los datos más relevantes como lo son los números identificadores de cada dispositivo, la intensidad de la señal, y el dato del tiempo en que se realiza la publicación. Estos valores son añadidos a un nuevo objeto JSON para poder ser enviados por medio de un POST hacia donde se encuentra alojada la aplicación de software que sirve de interfaz con el usuario. En esta aplicación la información es adaptada y mostrada al personal experto de CDT de GAS. Se destaca que el intervalo de tiempo en que se desea que los no-

dos sensores realicen el envío de los datos es configurable. Seguidamente, el JSON recibido es acondicionado para convertir el valor de los segundos a un formato aceptado por los nodos. También se crea un bloque llamado "Seleccionar Topic", para realizar la selección del nodo al cual se va hacer el ajuste. El esquema que describe este proceso en Node-Red, se aprecia en la Figura 5.

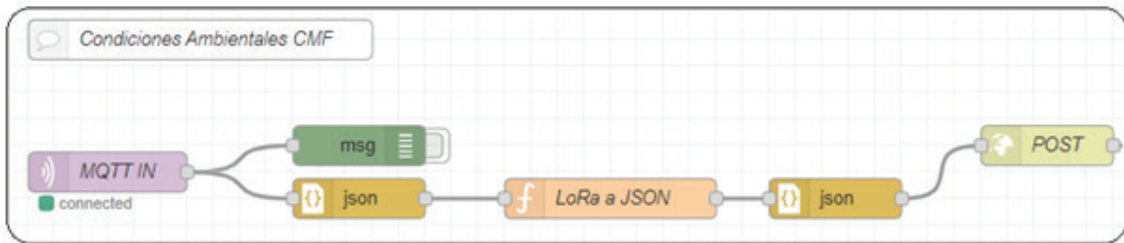
La información del comando para ajustar el tiempo habiendo llegado al gateway se trata y se adapta para ser remitida al nodo una vez este entra en actividad, recordando que el resto de tiempo que no transmite está dormido o inactivo, ya en el dispositivo sensor es configurado por este periodo de tiempo. En la Figura 6, se presenta el esquema de Node-Red para esta etapa, llamada también downlink.

### 3.4. Implementación

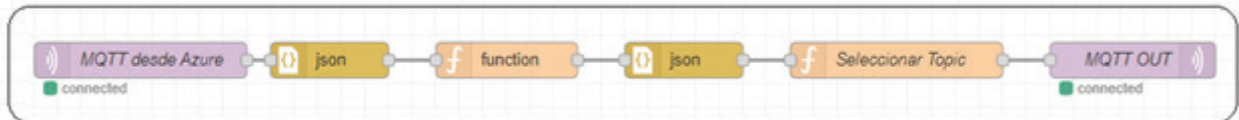
Para la puesta en funcionamiento del sistema se efectuó la instalación y configuración del gateway en el techo de las instalaciones del CDT de GAS. Seguidamente, se realizaron pruebas con el fin de determinar la intensidad de la señal en diferentes puntos de las áreas del laboratorio, usando un nodo sensor que se transportó por distintos lugares con la finalidad de encontrar las mejores ubicaciones para los dispositivos sensores. Las potencias de las señales obtenidas estuvieron en el rango de -48 dBm en el área de termometría y de -76 dBm en el área de alto caudal, intervalos en los cuales existe buena recepción de la señal y comunicación entre el nodo y la puerta de enlace. A continuación, en la Figura 7, se evidencia un estimado de la cobertura de la señal inalámbrica LoRa y la ubicación final de cada nodo-sensor en el CDT de GAS Piedecuesta.



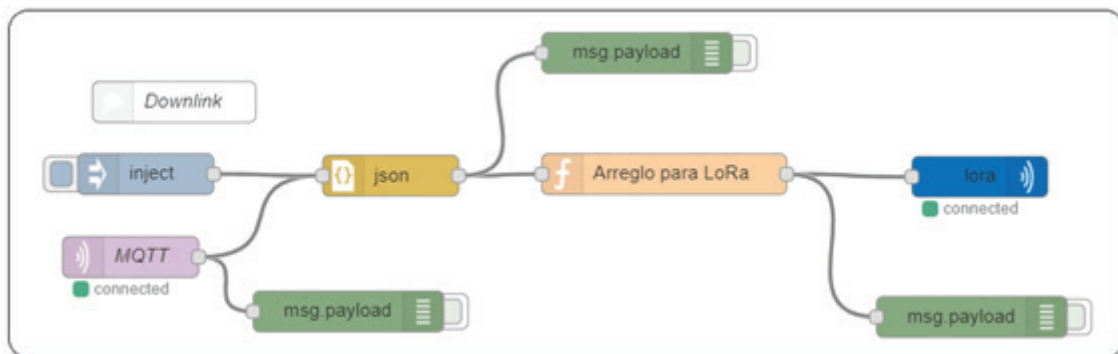
**Figura 3.** Flujo de Node-Red en el gateway, para el proceso de uplink.



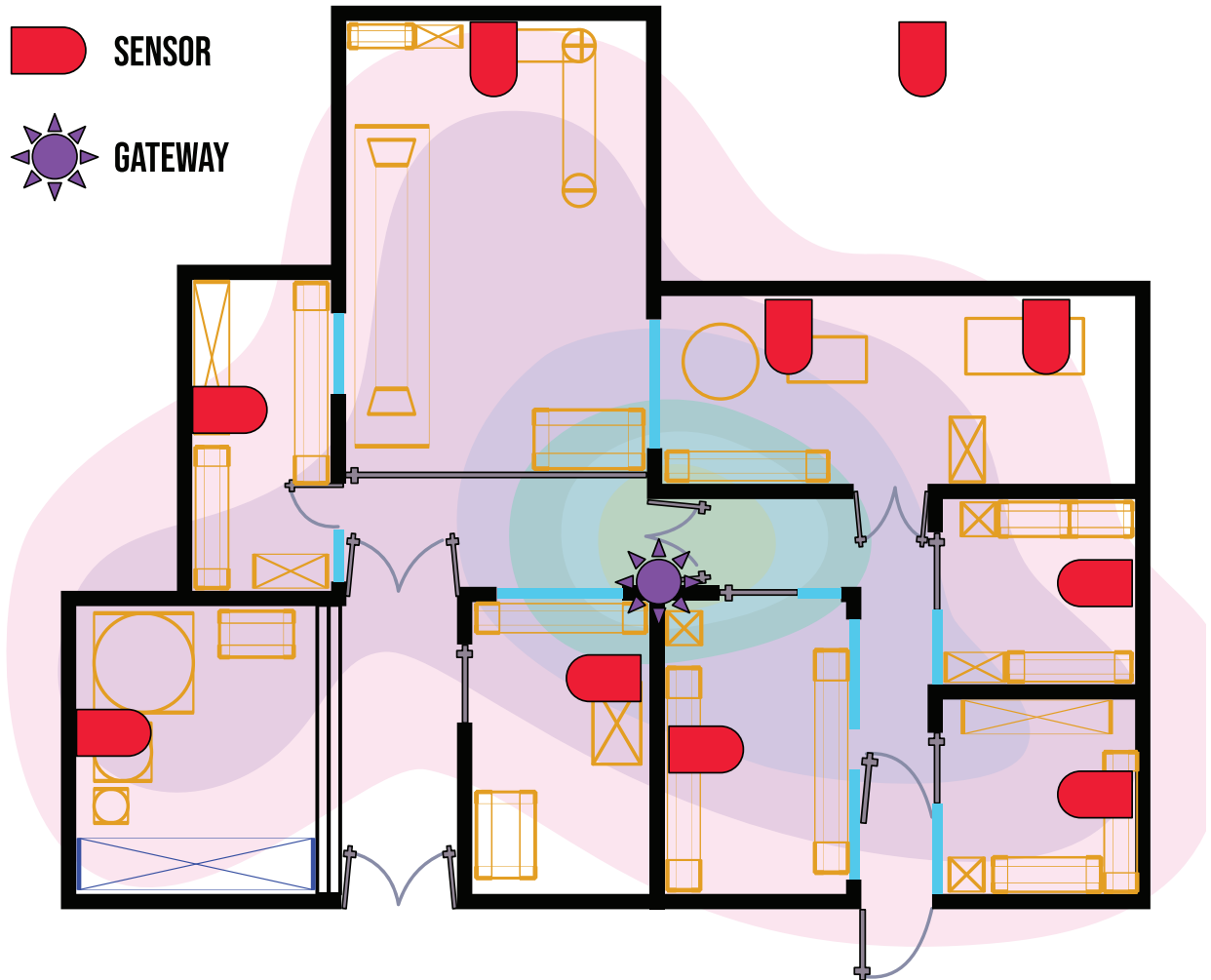
**Figura 4.** Flujo de Node-Red en el servidor, para el tratamiento de la información recibida.



**Figura 5.** Flujo de Node-Red en el servidor para la configuración del tiempo de envío de los nodos-sensores.



**Figura 6.** Flujo de Node-Red en el gateway para ajustar el tiempo de envío del nodo sensor.



**Figura 7.** Cobertura de la señal y ubicación final de los nodos-sensores.

#### 4. Resultados y discusión

En la Tabla 3 se presentan las mediciones de la potencia de la señal obtenidas en las pruebas que se realizaron para cada área del CDT

de GAS en la sede de Piedecuesta en donde se puede apreciar que la intensidad de la señal se encuentra en un rango de entre -48 dBm y -76 dBm, por lo tanto, se tiene una buena cobertura en la comunicación.

Como ejemplo, en la Figura 8 se muestran las

Área	Potencia de la señal (dBm)
Termometría	-48
Calidad de Gas	-49
Señales Eléctricas	-51
Campana	-55
Líquidos- Gravímetro	-57
Cámaras Húmedas	-58
Manometría	-68
Ensayos 1	-72
Ensayos 2	-74
Alto Caudal	-76

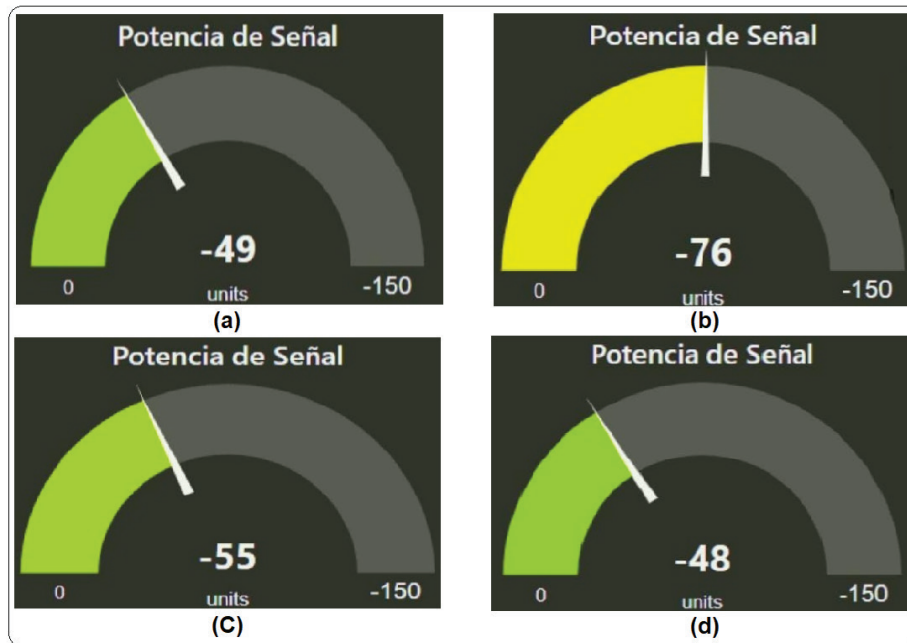
**Tabla 3.** Resultado de las mediciones en diferentes áreas del CMF y ensayos.

mediciones realizadas en las áreas de calidad de gas, alto caudal, campana y termometría, las cuales se hicieron con uno de los nodos sensores transmitiendo cada 30 segundos hacia el gateway en diferentes lugares del CMF y ensayos.

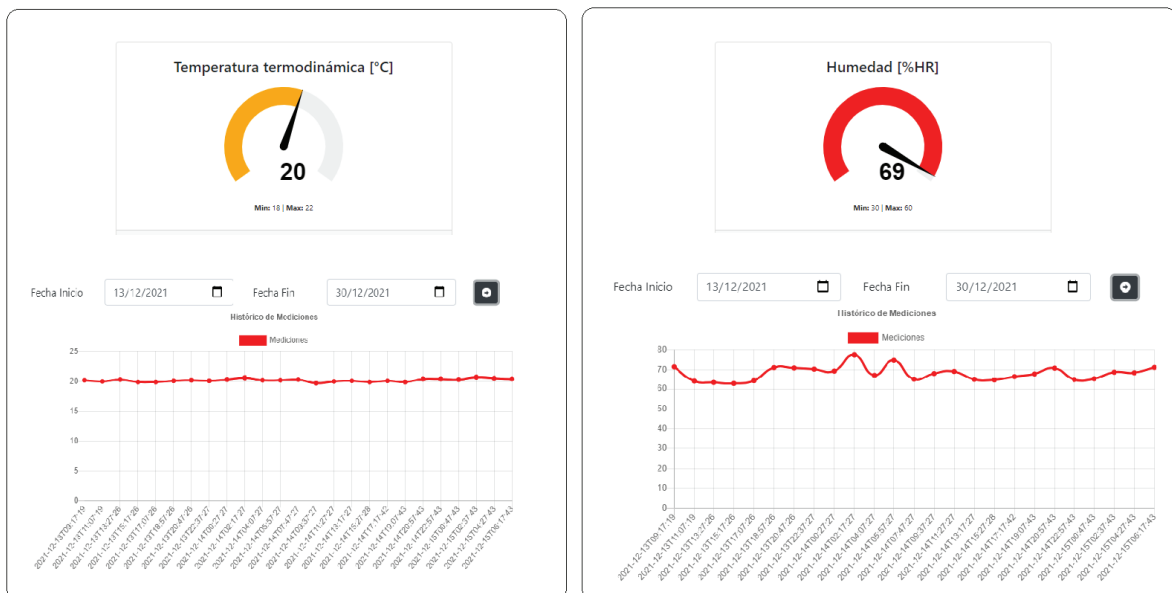
Para el monitoreo de las variables de temperatura y humedad relativa en tiempo real, se puede visualizar en la APP WEB integrada en la plataforma GÉMESIS los datos enviados por los nodos, para que con base en ellos se puedan tomar decisiones con respecto a los procesos de

calibración. En la aplicación se puede configurar el intervalo de tiempo para el envío de la información por parte de los dispositivos sensores. También se implementó la opción para descargar en un archivo de Excel el historial de las mediciones, así como realizar el ajuste después de la calibración de dichos nodos para lograr una mayor precisión y eficacia. Finalmente, se deja abierta la posibilidad para agregar al sistema nuevos nodos sensores que midan diferentes variables como puede ser la presión.

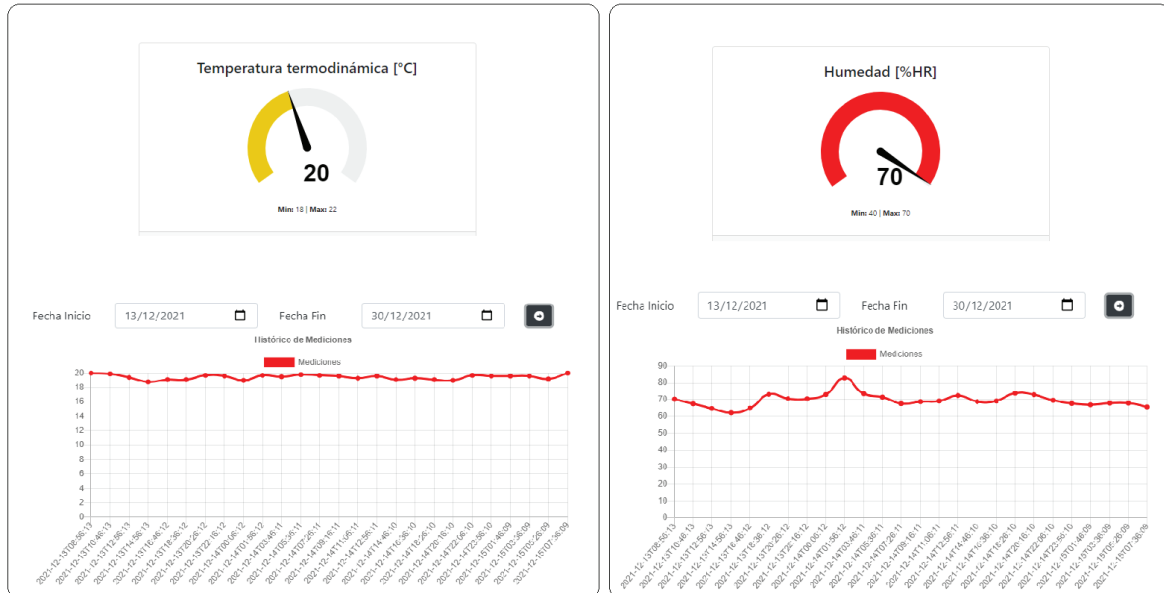
En las Figuras 9, 10 y 11 se presentan los datos



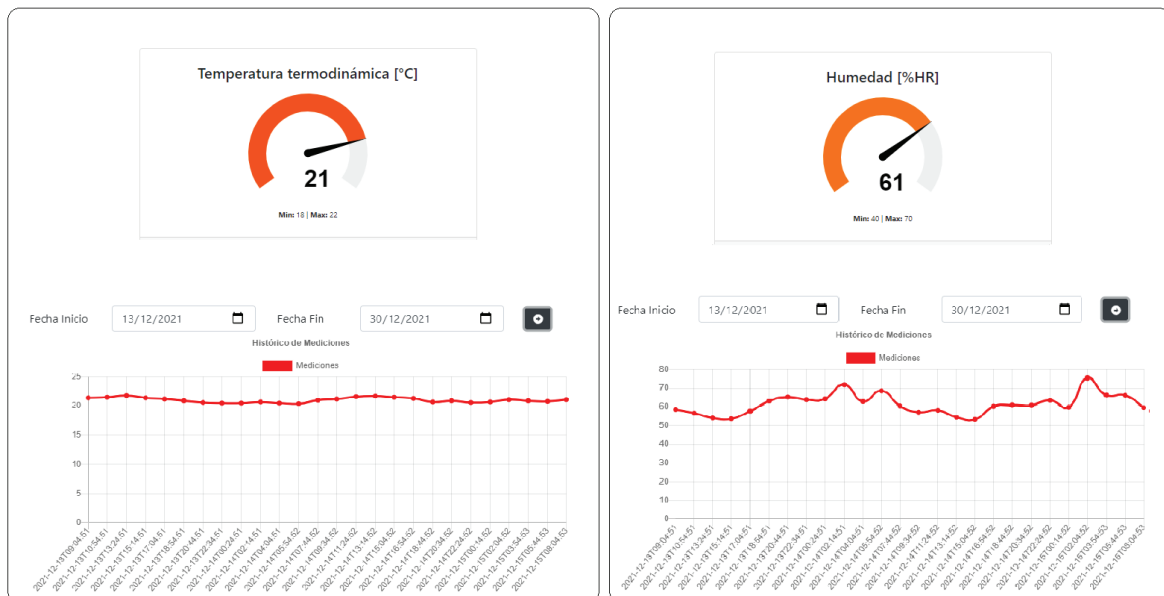
**Figura 8.** Intensidad de las señales inalámbricas en las áreas de (a) calidad de gas, (b) alto caudal, (c) campana, y (d) termometría.



**Figura 9.** Registro de temperatura y humedad en el área de altos caudales.



**Figura 10.** Registro de temperatura y humedad en el área de medios caudales.



**Figura 11.** Registro de temperatura y humedad en el área de calidad de gas.

de las mediciones que llegan a la aplicación en las áreas de altos caudales, medios caudales, y de calidad de gas. Se puede apreciar la gráfica de historial de cada variable medida con sus respectivos umbrales para las alarmas. La temperatura en estos lugares oscila entre 20 °C y 21 °C, y la humedad entre 61 % y 70 %.

Una vez verificados y validados los datos que se envían como los que llegan desde y hacia la aplicación web, se dejó por defecto un intervalo para el envío de información de 10 minutos, ya que según el fabricante de los nodos la duración de la batería tiene un tiempo estimado de 4 a 10 años dependiendo del número diario de publicaciones.

## 5. Conclusiones

Se logró desarrollar e implementar una red de nodos sensores IoT conectados en topología estrella, con el fin de medir las condiciones ambientales en los diferentes cuartos del laboratorio del CDT de GAS. La red permite el monitoreo en tiempo real y la gestión de su aseguramiento metrológico a través de una aplicación web que se denominó Monitoreo CMF.

A pesar de los obstáculos y falta de línea de vista que hay entre el gateway y los nodos sensores, la conexión se ha mantenido corroborando que en efecto la comunicación LoRa tiene un largo alcance.

Una vez los datos de las mediciones son visualizados en tiempo real en la opción de monitoreo de la plataforma GÉMESIS, el profesional experto del CMF tiene a la mano una herramienta eficaz con la cual fácilmente puede evaluar y tomar decisiones para el ambiente controlado, ya que la información es objetiva y acorde a la condición actual del lugar. Adicionalmente, la aplicación cuenta con la opción de poder descargar

el historial para integrar esta información a los informes de calibración de los sistemas puestos a prueba.

La red LoRa permite la integración de más dispositivos sensores para la medición de diferentes variables que son relevantes a la hora de realizar el proceso de calibración. Cabe destacar que las mediciones aquí implementadas en esta versión del sistema cuentan con la opción de especificar los umbrales que se deben tener para cada área con el fin de establecer las alarmas cuando estas se encuentren por encima o por debajo de estos rangos predefinidos por los profesionales de metrología.

La frecuencia de trabajo de la intercomunicación LoRa se establece en AU915, ya que, en la actual normatividad colombiana, aunque la banda libre para sistemas de este tipo se encuentre desde 902 MHz a 928 MHz que corresponde a la US915 aprobada para Norteamérica, es explícito que se ubique de 915 MHz a 928 MHz por razones legales.

## Referencias

- [1] Quiñones MF, Pachar Bravo HP, Martínez-Curipoma J, Quiñones L, Torres R. 2020. Desarrollo y evaluación de un gateway móvil IoT para redes 4G LTE. *Enfoque UTE* 11(4):16–26.
- [2] Villarroel González C, Goykovic Cortés V, Col-lao Caiconte P, Barraza Rodríguez M, Fernández Fuentes J, Villarroel Figueroa A, Valdivia R, Castro C. 2019. Evaluación de desempeño de un invernadero ubicado en el desierto de Atacama, Chile, a través de IoT. *Interciencia* 44(7): 386–393.
- [3] Santana Ching i, Cárdenas Rivero a, Sosa López r, Portal Díaz J. 2020. Monitoreo de pa-

rámetros ambientales en casas de cultivo a través de aplicación IoT. *Revista Cubana De Transformación Digital* 1: 53-62.

- [4] Porras Calderon WA, Salah Garcia OY. 2019. Implementación de una red LPWAN de sensores para el monitoreo de condiciones ambientales. *Met&Flu* 14: 48-67.
- [5] About LoRa Alliance® - LoRa Alliance®. Consultado diciembre 21, 2021. Disponible en: <https://lora-alliance.org/about-lora-alliance/>.
- [6] Trabajando Con JSON - Aprende Sobre Desarrollo Web. Consultado enero 5, 2022. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Learn/JavaScript/Objects/JSON>.
- [7] MQTT - The Standard for IoT Messaging. Consultado febrero 21, 2022. Disponible en: <https://mqtt.org/>.
- [8] Qué es una máquina virtual y cómo funciona. Consultado enero 5, 2022. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/overview/what-is-a-virtual-machine/#overview>.
- [9] Servicios de informática en la nube. Consultado enero 20, 2022. Disponible en: <https://azure.microsoft.com/es-es/>.
- [10] Oracle Colombia. ¿Qué es el internet de las cosas (IoT)? Consultado enero 21, 2022. Disponible en: <https://www.oracle.com/co/internet-of-things/what-is-iot/>.
- [11] Agencia Nacional del Espectro, República de Colombia. 2016. Resolución 711 de 2016 - Por la cual se establecen las bandas de frecuencia de libre utilización dentro del territorio nacional y se derogan algunas disposiciones.
- [12] Invest, City, Longcheng Street, and Longgang District. n.d. "Waterproof Long Range Wireless LoRa Sensor Node OVERVIEW: Features: Dragino Technology Co; Limited Waterproof Long Range Wireless LoRa Sensor Node Dragino Technology Co; Limited." (546).
- [13] Node-RED. Consultado enero 5, 2022. Disponible en: <https://nodered.org/#features>.
- [14] HTTP | MDN. Retrieved February 21, 2022. Disponible en: <https://developer.mozilla.org/es/docs/Web/HTTP>.
- [15] Lora, Dragino, and A. T. 2018. Command Sets. "Dragino LoRa ® AT Command Sets." 1-20.
- [16] Hercules SETUP Utility | HW-Group.Com. Retrieved January 4, 2022. Disponible en: <https://www.hw-group.com/software/hercules-setup-utility>.