

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación**

**“DISEÑO DE UNA RED INALÁMBRICA DE MONITOREO DE CO<sub>2</sub>  
BASADO EN LA TECNOLOGIA SIGFOX”**

**PROYECTO INTEGRADOR**

Previo la obtención del Título de:

**Ingeniería en Telecomunicaciones**

Presentado por:

Cinthia Yadira Flores Banchón

José Carlos Maza Pacheco

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2018

## **DEDICATORIA**

A quienes creyeron en mí desde el principio de mi vida estudiantil y me motivaron a convertirme en una profesional.

A quienes no desfallecen ante la adversidad, sino que dan el mejor de sus esfuerzos por continuar.

A quienes tienen sueños y no se sientan a esperar que ocurran, sino que luchan a diario por cumplirlos.

**Cinthia Yadira Flores Banchón**

Dedico este trabajo a mi madre Angela Pacheco, por ser un pilar importante en mi vida, ayudándome en las buenas y en las malas, por ser mi fuente de motivación, brindándome siempre su apoyo y confianza constante a pesar de los momentos difíciles que ha tenido que pasar últimamente.

**José Carlos Maza Pacheco.**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, a la virgen María, por proveerme la fortaleza y la sabiduría para culminar esta etapa estudiantil.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por su esfuerzo, por darme lo mejor ellos cada día y enseñarme que más allá del título, la honestidad, la humildad, la constancia y la fe son las mejores armas que tiene el ser humano para seguir adelante.

A mis maestros, que además de impartir conocimientos se preocuparon por brindarme una formación rica en valores.

A mis amigos, aquellos que siempre me brindaron una palabra de aliento en los momentos aflicción, a los que estuvieron a mi lado en los momentos de estudio y a los que me acompañaron a diario con sus oraciones.

A mi consejera, Ing. Maricela Freire, a mi tutor de tesis, MsC. Jorge Brito, a la maestra de la materia integradora, Dr. María Antonieta Álvarez por estar siempre dispuestos a atenderme y brindarme su ayuda para la realización de mis trabajos.

A mi compañero de tesis, José Maza por su dedicación y a la empresa PACIFICSOFT S.A. que nos facilitó los medios necesarios para llevar a cabo este proyecto integrador.

**Cinthia Yadira Flores Banchón**

Agradezco a mi padre Harry Maza por su trabajo, sacrificio y apoyo durante todos estos años.

A mi hermana Gabriela Maza por apoyarme en todo momento, ya que con su amor profundo siempre mantuvo sus esperanzas en mí.

A mi compañera de tesis Cinthia Flores por su paciencia y dedicación a lo largo de este proyecto.

A mi tutor de tesis, Msc. Jorge Brito, ya que sus conocimientos sirvieron de guía en el correcto desarrollo y culminación de este trabajo.

**José Carlos Maza Pacheco.**

## DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; *Cinthia Yadira Flores Banchón* y *José Carlos Maza Pacheco* damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual”

---

Cinthia Flores Banchón

---

José Maza Pacheco

# EVALUADORES

.....  
**Ph.D. María Antonieta Álvarez Villanueva**

PROFESOR DE LA MATERIA

.....  
**MSc. Jorge Brito Collantes**

PROFESOR TUTOR

## RESUMEN

El principal responsable del conocido efecto invernadero es el CO<sub>2</sub>, las emisiones de este gas generadas por los vehículos afectan la calidad del aire en el medio ambiente, por lo que es necesario ofrecer una herramienta de monitoreo de CO<sub>2</sub> a las autoridades competentes, para que puedan tomar las acciones oportunas a fin de proteger la salud pública y ambiental.

Se presentó un sistema de monitoreo inalámbrico de CO<sub>2</sub> basado en la tecnología Sigfox. El nodo consta de un módulo sensor de CO<sub>2</sub>, una placa Arduino, y un módulo de transmisión Sigfox. El nodo transmite los niveles de CO<sub>2</sub> a las estaciones bases y este los envía al servidor de red propio de la plataforma Sigfox, y posteriormente a un servidor web.

Para las pruebas se realizó un monitoreo fijo, en donde se instaló un nodo en una avenida del norte de Guayaquil, y un monitoreo móvil para comprobar su funcionalidad, de manera que se emuló una parte del recorrido de un autobús.

Se concluye que el sistema es capaz de medir y desplegar la información en tiempo real. Para trabajos futuros es posible adaptar el monitoreo de otras variables de ambiente como temperatura, humedad y calidad del aire, al prototipo.

**Palabras Clave:** CO<sub>2</sub>, Monitoreo Inalámbrico, Tecnología Sigfox, Tiempo Real, Prototipo.

## **ABSTRACT**

*The main responsible of the known greenhouse effect is CO<sub>2</sub>, the gas emissions generated by vehicles affect the air quality in the environment, so it is necessary to offer a CO<sub>2</sub> monitoring tool to the competent authorities, so that they can take the appropriate actions in order to protect public and environmental health.*

*A wireless CO<sub>2</sub> monitoring system based on Sigfox technology was presented. The node consists of a CO<sub>2</sub> sensor module, an Arduino board, and a Sigfox transmission module. The node transmits the CO<sub>2</sub> levels to the base stations, which send these levels to the network server of the Sigfox platform, and later to a web server.*

*For the tests, a fixed monitoring was carried out, where a node was installed in a northern venue of Guayaquil, and a mobile monitoring to verify its functionality, so that part of a bus route was emulated.*

*It is concluded that the system is capable of measuring and displaying information in real time, for future work it is possible to adapt the monitoring of other environmental variables such as temperature, humidity, air quality to the prototype.*

**Keywords:** CO<sub>2</sub>, Wireless Monitoring, Sigfox Technology, Real Time, Prototype.



# ÍNDICE GENERAL

|   |    |
|---|----|
| 1. Introducción.....  | 10 |
| 1.1 Descripción del problema .....  | 11 |
| 1.2 Objetivos.....  | 12 |
| 1.2.1 Objetivo General .....  | 12 |
| 1.2.2 Objetivos Específicos.....  | 12 |
| 1.3 Marco teórico.....  | 13 |
| 1.4.1 Organismos y Leyes de Control de la Calidad del Aire. ....                                | 13 |
| 1.4.2 Consecuencias de altos niveles de CO <sub>2</sub> . ....                                  | 15 |
| 1.4.3 Sensores de CO <sub>2</sub> . ....  | 16 |
| 2. Sistema de monitoreo inalámbrico de emisiones de co <sub>2</sub> .....                       | 22 |
| 2.1 Arquitectura IoT.....   | 23 |
| 2.1.1 IoT endpoints.....  | 26 |
| 2.1.2 IoT edge platform.....  | 28 |
| 2.1.3 Servidor de red: IoT platform repository.....   | 28 |
| 2.1.4 Servidor Web: IoT application.....  | 28 |
| 2.2 Red de nodos inalámbricos.....  | 29 |
| 3. Implementación de prueba para el monitoreo inalámbrico de emisiones de CO <sub>2</sub> ...34 |    |
| 3.1 Hardware del sistema.....   | 34 |
| 3.1.1 Esquema de conexión. ....   | 34 |
| 3.1.2 Fuente de alimentación del sistema.....   | 35 |
| 3.1.3 Prototipo de prueba. ....   | 36 |
| 3.2 Configuración del software del sistema.....   | 37 |
| 3.2.1 Pseudocódigo para el envío de datos al servidor web.....                                  | 37 |
| 3.2.2 Diagrama de flujo para el envío de datos al servidor web.....                             | 37 |
| 3.3 Escenarios para el monitoreo de CO <sub>2</sub> . ....                                      | 39 |

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 3.3.1 | Monitoreo estático.....  | 39 |
| 3.3.2 | Monitoreo móvil.....   | 40 |
| 4.    | Análisis de los resultados.....  | 41 |
| 4.1   | Mediciones de CO <sub>2</sub> en av. San Jorge y Arquitecto Federico González..... | 41 |
| 4.1.1 | Medición en días laborables.....   | 41 |
| 4.1.2 | Medición de fin de semana.....   | 48 |
| 4.2   | Costo de la implementación y mantenimiento de la red.....                          | 50 |
| 5.    | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....  | 52 |
| 5.1   | CONCLUSIONES.....  | 52 |
| 5.2   | RECOMENDACIONES.....   | 52 |

## **ABREVIATURAS**

|       |                                       |
|-------|---------------------------------------|
| IoT   | Internet of Things                    |
| LPWAN | Long-Power Wide-Area Network          |
| DBPSK | Diferential Binary Phase Shift Keying |
| GFSK  | Gaussian Frecuency Shift Keying       |

## **SIMBOLOGÍA**

CO<sub>2</sub>

Dióxido de Carbono

## ÍNDICE DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 1.1</b> Contribución al Calentamiento Global [14].....                                      | 16 |
| <b>Figura 1.2</b> Sensor MG811 [15].....  | 17 |
| <b>Figura 1.3</b> Sensor MQ-135 [17]. .....   | 18 |
| <b>Figura 2.1</b> Diseño del sistema de monitoreo de emisiones de CO <sub>2</sub> .....               | 22 |
| <b>Figura 2.2</b> Modelo IoT de 7 capas [24]. .....   | 23 |
| <b>Figura 2.3</b> Arquitectura de referencia de una plataforma IoT [25].....                          | 24 |
| <b>Figura 2.4</b> Arquitectura basado en el modelo IoT de Gartner [23].....                           | 25 |
| <b>Figura 2.5</b> Bloques del nodo [26].....  | 26 |
| <b>Figura 2.6</b> Estaciones Base en Guayaquil.....   | 29 |
| <b>Figura 2.7</b> Cobertura de la Red Sigfox en Guayaquil.....  | 31 |
| <b>Figura 2.8</b> Ubicación de 4 nodos de CO <sub>2</sub> en el centro de la ciudad de Guayaquil..... | 32 |
| <b>Figura 2.9</b> Ubicación de 4 nodos de CO <sub>2</sub> en el norte de la ciudad de Guayaquil. .... | 32 |
| <b>Figura 2.10</b> Parte del recorrido de la línea 85.....  | 33 |
| <b>Figura 3.1</b> Conexión física del nodo sensor.....  | 35 |
| <b>Figura 3.2</b> Prototipo del sistema de monitoreo de CO <sub>2</sub> .....                         | 36 |
| <b>Figura 3.3</b> Ubicación geográfica para el Escenario 2 .....                                      | 40 |
| <b>Figura 3.4</b> Parte de la ruta de un autobús.....   | 40 |
| <b>Figura 4.1</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 9:16 y 10:30 con indicadores.....            | 42 |
| <b>Figura 4.2</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 12:38 y 13:28 con indicadores.....           | 42 |
| <b>Figura 4.3</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 18:13 y 19:06 con indicadores.....           | 43 |
| <b>Figura 4.4</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 9:17 y 10:19 con indicadores.....            | 44 |
| <b>Figura 4.5</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 12:09 y 13:12 con indicadores.....           | 45 |
| <b>Figura 4.6</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 18:13 y 19:06.....                           | 45 |
| <b>Figura 4.7</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 8:42 y 9:57.....                             | 46 |
| <b>Figura 4.8</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 13:53 a 15:11.....                           | 47 |
| <b>Figura 4.9</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 18:43 y 19:52.....                           | 47 |
| <b>Figura 4.10</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 10:35 -11:15 .....                          | 48 |
| <b>Figura 4.11</b> Monitoreo de CO <sub>2</sub> entre las 11:18 -12:11. ....                          | 49 |
| <b>Figura 4.12</b> Monitoreo móvil .....  | 50 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabla 1.1</b> Contaminantes del medio ambiente [12]. .....                        | 15 |
| <b>Tabla 2.1</b> Requerimientos energéticos del nodo. ....                           | 27 |
| <b>Tabla 2.2</b> Características principales de la antena RO8605NF [28]......        | 28 |
| <b>Tabla 2.3</b> Ubicación y Altura de las Estaciones Base Sigfox en Guayaquil. .... | 30 |
| <b>Tabla 2.4</b> Indicador de Intensidad de señal recibida [29]. ....                | 31 |
| <b>Tabla 3.1</b> Conexión de los dispositivos del Nodo.....                          | 34 |
| <b>Tabla 3.2</b> Consumo de energía del nodo. ....                                   | 35 |
| <b>Tabla 3.3</b> Comandos AT usados en la programación del módulo Wisol SFM11R2D. .. | 38 |
| <b>Tabla 4.1</b> Costo de la implementación de la red .....                          | 50 |
| <b>Tabla 4.2</b> Costo del mantenimiento de la red.....                              | 51 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

**ANEXO A:** Especificaciones técnicas del sensor MQ135.

**ANEXO B:** Código en Arduino para lectura del sensor y envío de datos al servidor web.

**ANEXO C:** Configuración del backend de Sigfox para enviar datos a Ubidots.

# CAPITULO 1

## 1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos 50 años, actividades humanas relacionadas a la combustión de combustibles fósiles, han liberado cantidades de gases de efecto invernadero y dióxido de carbono, siendo estos los responsables del cambio climático. Actualmente la concentración de dióxido de carbono ha incrementado en más de un 30 % desde la revolución industrial. Los principales focos encargados de la contaminación del aire son las ciudades, ya que estas representan el 75% del consumo de energía y el 80% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a nivel mundial [1].

De acuerdo a la Tercera Comunicación Nacional del Ecuador y la Organización Mundial de la Salud, la tasa de crecimiento en las emisiones en América Latina fue de 0.8% en el transcurso de los años 2000-2010, la cual es considerada baja a nivel mundial, sin embargo se indica que si las tendencias se mantienen, la temperatura media de la superficie terrestre en el año 2100 se incrementará de 3,7°C a 4,8°C [2]. Ecuador ocupa el octavo lugar en América Latina y el Caribe en términos de emisiones totales de CO<sub>2</sub>, experimentando un incremento del 78.7% de las emisiones generadas principalmente por el transporte público y particular entre el año 1990 y el 2006 [3]. En base a esto, es deber del Estado proteger la integridad del ambiente a través de planes para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Como seguimiento a esta actividad, las tecnologías de la información ofrecen soluciones a problemas relacionados con el control de la calidad del aire, a partir de la recopilación de información de parámetros claves, misma que ayudará a las autoridades competentes a identificar posibles eventos ligados al cambio climático. Atendiendo a estas consideraciones, una de las tecnologías es el Internet de la Cosas (IoT por sus siglas en inglés), la cual está basada en redes de sensores, en este caso, beneficiosos para el monitoreo de CO<sub>2</sub>, los cuales tienen capacidad de recolección de datos en tiempo real de los niveles de contaminación.



El presente trabajo consiste en un sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub>, formado por un sensor que se encargará de capturar los niveles de emisión de dióxido de carbono en un vehículo de transporte público, posteriormente los datos capturados serán procesados por un microcontrolador. La transmisión de la información se la realizará a través del protocolo Sigfox, mismo que está basado en tecnología LPWAN, el cual ofrece servicios de red de cobertura amplia y de bajo consumo energético, ofreciendo además un gran nivel de precisión, ya que la medición y envío de los resultados a la plataforma Ubidots son realizadas en tiempo real.

En base a lo expuesto y al detalle del proyecto, se ha determinado que el monitoreo se lo realizará en el transporte público, a fin de que sirva como instrumento que genere indicadores estadísticos para organismos regulatorios que forman parte del Ministerio del Ambiente.

### **1.1 Descripción del problema**

La contaminación ambiental es uno de los principales problemas que afectan al planeta. Las industrias, el transporte terrestre, la agricultura y la deforestación son algunas de las actividades que contaminan el entorno.

El parque automotor en la ciudad de Guayaquil es de 432 000 vehículos [4], por ese motivo, el presente trabajo se enfocará en el transporte público, pues se ha constatado una emisión exagerada de hollín en los vehículos que brindan este servicio, y aunque exista una revisión periódica de estos buses, a diario se observan unidades que no parecen estar aptas para el funcionamiento, debido al alto nivel de contaminación que generan.

El CO<sub>2</sub> es el principal responsable del conocido efecto invernadero [5]. El incremento de este gas tóxico no solo afecta a la salud de las personas, sino también a la economía del país. Es un hecho que las emisiones de CO<sub>2</sub> ocasionadas por los vehículos son las que generan un mayor nivel de contaminación en el medio ambiente [6].

En base a la problemática expuesta, el presente trabajo está caracterizado por su compromiso ambiental, en el mismo se hará uso de ciertas herramientas que ofrecen las tecnologías de la información y comunicación, para desarrollar un sistema de monitoreo que facilite la obtención de información de los niveles de CO<sub>2</sub> a los organismos de control de calidad del aire.

A pesar de existir proyectos enfocados en esta problemática, por ejemplo, se han realizado aplicaciones que se encargan de medir sustancias contaminantes en la ciudad de Guayaquil, a través de un sistema de telemetría, el cual envía los datos mediante tecnología WI-FI [7]; también un sistema de monitoreo de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca, a través de tecnología GSM; además de una sistema de monitoreo de monóxido de carbono en una residencia, usando comunicación Zigbee [8]; los cuales presentan limitaciones ya sea en el área de cobertura, consumo de energía o los elevados costos. El presente trabajo se diferencia al aplicar el protocolo Sigfox, el cual es una nueva tecnología de comunicación inalámbrica que ofrece un servicio de cobertura amplia y de bajo consumo energético, convirtiéndose en una solución mucho más económica, pero sobre todo con un gran nivel de precisión, ya que la medición y el envío de datos se realiza en tiempo real.

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General**

Medir las concentraciones de CO<sub>2</sub> con un sistema de monitoreo inalámbrico, de manera que esta información sirva como herramienta a instituciones dedicadas a la protección de la salud pública y ambiental.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar un sistema de monitoreo inalámbrico capaz de medir los niveles de CO<sub>2</sub>, enviando la información a un servidor de datos en la nube, la cual está incorporada en la arquitectura de la red Sigfox.

- Implementar el sistema de monitoreo de manera compacta, para que pueda ser instalado en cualquier espacio público.
- Mostrar los resultados en un servidor de datos (Ubidots), para que los usuarios tengan acceso a él a través de internet.

### **1.3 Marco teórico**

#### **1.4.1 Organismos y Leyes de Control de la Calidad del Aire.**

El Ministerio del Medio Ambiente ha desarrollado el Plan Nacional de Calidad del Aire, con el fin de garantizar a la ciudadanía un entorno sano y un medio ambiente equilibrado, libre de contaminación. A continuación, se listan algunos organismos encargados de estos temas en las principales ciudades del país:

#### **QUITO**

Corporación para el Mejoramiento del Aire (CORPAIRE), surgió por iniciativa de la municipalidad de dicha ciudad, encargado de las siguientes tareas: operación de la Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico (REMMAQ), revisión técnica vehicular y desarrollo del Índice Quiteño de Calidad del Aire.

#### **CUENCA**

Empresa de Telecomunicaciones, Agua Potable y Alcantarillado (ETAPA), es la responsable del monitoreo de la calidad del aire en Cuenca, realiza mediciones de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y partículas totales en suspensión.

#### **GUAYAQUIL**

En la ciudad no existe una red de monitoreo permanente de la calidad del aire, de manera que no es posible establecer tendencias del deterioro de forma precisa.

La calidad del aire está amparada por las siguientes leyes:

- Ley Orgánica de la Salud.

- Ley Orgánica de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial.
- Ley Orgánica de Régimen Municipal.
- Ley Orgánica de Régimen para el Distrito Metropolitano de Quito.
- Ley Orgánica de Defensa del Consumidor.
- Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental.
- Ley de Gestión Ambiental.
- Ley de Hidrocarburos.
- Ley de Minería.
- Ley de la Comisión Ecuatoriana de Energía Atómica.
- Ley de Modernización del Estado [9].

Para un mejor entendimiento del contenido de estas, se citan dos artículos a continuación:

El artículo 112 de la Ley Orgánica de Salud dice:

*Los municipios desarrollarán programas y actividades de monitoreo de la calidad del aire, para prevenir su contaminación por emisiones provenientes de fuentes fijas, móviles y de fenómenos naturales. Los resultados del monitoreo serán reportados periódicamente a las autoridades competentes a fin de implementar sistemas de información y prevención dirigidos a la comunidad [10, p. 24].*

El artículo 1 de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación Ambiental sostiene:

*Queda prohibido expeler hacia la atmósfera o descargar en ella, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, contaminantes que, a juicio de los Ministerios de Salud y del Ambiente, en sus respectivas áreas de competencia, puedan perjudicar la salud y vida humana, la flora, la fauna y los recursos o bienes del estado o de particulares o constituir una molestia [11, p. 1]*

Según la ley de Gestión Ambiental las concentraciones de algunos contaminantes están establecidas de acuerdo su nivel de afectación tal como se observa en la tabla 1.1.

**Tabla 1.1** Contaminantes del medio ambiente [12].

| <b>Contaminante<br/>Y período de tiempo</b>               | <b>Alerta</b> | <b>Alarma</b> | <b>Emergencia</b> |
|---|---------------|---------------|-------------------|
| <b>Monóxido de Carbono</b>                                |               |               |                   |
| Concentración promedio en ocho horas                      | 15 000        | 30 000        | 40 000            |
| <b>Oxidantes Fotoquímicos,<br/>expresados como ozono.</b> |               |               |                   |
| Concentración promedio en una hora                        | 300           | 600           | 800               |
| <b>Oxidos de Nitrógeno, como NO2</b>                      |               |               |                   |
| Concentración promedio en una hora                        | 1 200         | 2 300         | 3 000             |
| <b>Dióxido de Azufre</b>                                  |               |               |                   |
| Concentración promedio en veinticuatro horas              | 800           | 1 600         | 2 100             |
| <b>Material Particulado PM10</b>                          |               |               |                   |
| Concentración en veinticuatro horas                       | 250           | 400           | 500               |

Los valores de concentración presentados en la tabla 1.1, están expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

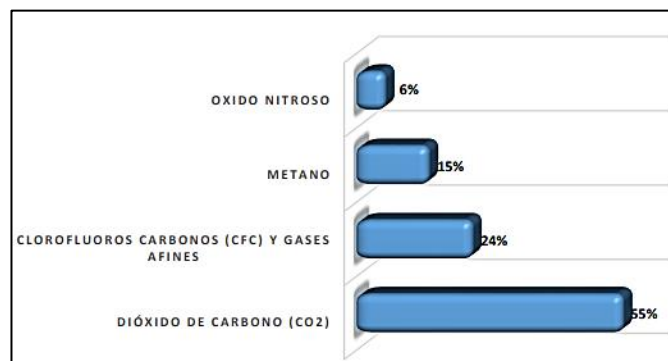
Con respecto al CO<sub>2</sub>, este es perjudicial a partir de una concentración de 50.000 partículas por millón (ppm), sin embargo, a partir de 800 y 2.000ppm, causa molestias como: dolor de cabeza y cansancio. En aire limpio, la concentración de CO<sub>2</sub> oscila entre 400 ppm y en las ciudades está por los 700 ppm [13].

#### **1.4.2 Consecuencias de altos niveles de CO<sub>2</sub>.**

El dióxido de carbono es un gas que está presente en el medio ambiente, este es absorbido por las plantas para la elaboración de la fotosíntesis, vital

para su crecimiento y desarrollo. El hombre, por el contrario, lo expulsa en el proceso de respiración.

El  $\text{CO}_2$  es de mucha importancia para los seres vivos, cumple su ciclo dentro de la naturaleza y mientras lo hace permite mantener un equilibrio en el ecosistema. El problema que atravesamos ahora es el exceso de emisión de este gas, lo cual ha acarreado fuertes consecuencias a nuestro entorno [14].



**Figura 1.1** Contribución al Calentamiento Global [15].

En la figura 1.1 podemos observar algunos gases que contribuyen al calentamiento global, siendo el  $\text{CO}_2$  el principal contribuyente.

### 1.4.3 Sensores de $\text{CO}_2$ .

#### **MG811 $\text{CO}_2$ Sensor Dióxido Carbono**

Este sensor, junto con el módulo, contiene un circuito para amplificar o ajustar la sensibilidad dependiendo del ambiente donde se quiera utilizar, tiene un comparador con umbral ajustable y una salida analógica.

El MG-811 puede leer concentraciones desde 350 a 100000ppm (partículas por millón). En la figura 1.2 se puede observar el sensor MG811.



**Figura 1.2** Sensor MG811 [16].

Características del sensor brindadas por el distribuidor Micro JPM.

- Voltaje 6V.
- Salida digital DO (comparador)
- Salida analógica AO (amplificador)
- Salida comparador de temperatura
- Potenciómetro para ajustar amplificación
- Potenciómetro para ajuste de comparador
- Peso 10 g
- El sensor se calienta y se puede sentir al tacto. El voltaje se incrementa hasta que se nivela, ya que el sensor esté caliente, estará listo para detectar el CO<sub>2</sub>
- La salida analógica tiene un rango de 0 a 2v a mayor voltaje de salida es menor la concentración del gas.
- Cuando la temperatura ambiente cambia el voltaje de salida también varía, y el sensor de CO<sub>2</sub> a una temperatura más alta detección más eficaz [17].

### **MQ-135 Módulo Sensor de Calidad del Aire**

El MQ-135 es un sensor de gases peligrosos utilizado para el control de la calidad del aire y es adecuado para la detección de NH<sub>3</sub> (amoníaco), NO<sub>x</sub>, alcohol, benceno, humo, CO<sub>2</sub>, etc. En la figura 1.3 se puede observar el sensor MQ-135.



**Figura 1.3** Sensor MQ-135 [18].

Este sensor no proporciona valores absolutos, sino que simplemente proporciona una salida analógica que debe ser monitoreado y se comparada con los valores de umbral.

Características ofrecidas por el distribuidor Geekbot Electronics:

- Voltaje de trabajo: 5V.
- Pin Definición: 1\_salida, 2\_GND, 3\_VCC.
- Características de respuesta rápida.
- Con una larga vida y estabilidad fiable.
- Chip principal: Sensor MQ-135 Air Quality Sensor.
- Doble salida: Salida analógica y salida de nivel TTL.
- Alta sensibilidad al Amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ), Alcohol, Sulfuros, Benceno ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ), Monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), humo y otros gases nocivos.
- Montado en módulo con pines de conexión.
- Rango de detección: 10-1000ppm.
- Tamaño: 32mm x 22mm x 24mm.
- Buena sensibilidad a los gases dañinos en amplia gama
- Alta sensibilidad a Amoníaco, Sulfuro y Benzeno
- Circuito de accionamiento simple [17].

#### **1.4.4 Herramientas del Internet de las Cosas (IoT).**

IoT fue un concepto propuesto por Kevin Ashton en el año 1999, con el fin de facilitar información al hombre sin necesidad de que este la consiga de forma manual, se basa en un sistema de tecnologías que permiten



interconectar dispositivos, gestionar datos, subirlos a la nube e identificar radiofrecuencias. Su impacto ha sido extremo, de hecho, en una encuesta desarrollada por Forrester Research se destaca su alto grado de aceptación en las empresas internacionales que desde ya están utilizando soluciones IoT [19]. Es así como se convierte en un campo robusto para la innovación tecnológica.

### **Proveedor Mundial de Conectividad para IoT.**

Sigfox es una operadora de red alternativa de IoT encargada de atender a una infinidad de objetos que transmiten datos, con la particularidad de no establecer ni mantener conexiones de red por lo que no existe sobrecarga de señalización. La comunicación es basada en software, así que toda complejidad de red y computación es manejada en la nube, reduciendo considerablemente el consumo de energía y los costos de los dispositivos conectados.

Basada en la tecnología LPWAN (Low Power Wide Area Network), es decir, que a pesar de poseer una baja potencia siendo muy eficiente energéticamente presenta un largo alcance. Utiliza UNB (Ultra Narrow Band) combinado las modulaciones DBPSK (Differential Binary Phase-Shift Keying) y GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) para operar en la banda de 868 MHz en Europa y 920 MHz en Estados Unidos. Emplea los 200KHz de bandas no licenciadas con un ancho de 100 MHz por mensaje y velocidades de datos de 100 bits o 600 bits según la zona de trabajo.

Los mensajes de enlace ascendente por medio de la modulación D-BPSK cuentan con un payload de 12 bytes que son suficientes para transmitir la información que entrega el sensor, mientras que los mensajes de enlace descendente mediante la modulación GFSK tienen un payload de 8 bytes que pueden ser utilizados para enviar datos de configuración al dispositivo. La arquitectura de la red es en estrella, de manera que el dispositivo puede enviar el mensaje a 3 estaciones bases ubicadas dentro de la banda de

operación, ya que no hay una conexión específica entre el módulo de comunicación y la estación base a diferencia de los protocolos celulares. Para la comunicación de enlace ascendente las estaciones bases se encargan de recopilar los mensajes entregados por los nodos para luego transmitirlos a la nube de Sigfox y posteriormente enviarlos a la plataforma de la tecnología de la información (TI) del usuario final. Se pueden enviar 140 mensajes al día eso significa 1 mensaje cada diez minutos.

Sigfox busca la conectividad global de los objetos a base de requerimientos fundamentales de las aplicaciones de IoT; poco ancho de banda, bajo costo de conectividad, bajo consumo, alta capacidad de red y largo alcance [20].

### **Nube de la Red Sigfox.**

El punto final de la comunicación encargado de recibir y procesar los mensajes para obtener un resultado es Backend Sigfox, a partir de esta aplicación web es posible gestionar los dispositivos, configurar la integración de los datos y redirigir toda la información a cualquier aplicación elaborada en un servidor [21].

Los datos pueden ser recibidos mediante:

- Una API basada en HTTP REST (GET o POST) la cual entrega un resultado específico con una carga útil con formato JSON.
- Una URL de callback, de manera que los callbacks de Sigfox permitan reportar datos a un sistema externo, para ello se debe registrar la URL en el backend. Señalando los parámetros necesarios para configurar el callback a la API de la plataforma que se va a utilizar.

Al ingresar al backend de Sigfox en la parte superior encontramos las siguientes opciones:

**Device:** Encontramos los dispositivos registrados en el backend, a los cuales se puede acceder mediante una ID para poder observar los mensajes enviados con la fecha de recepción, la calidad del enlace, su localización y la URL del callback.

**Device Type:** Muestra los tipos de dispositivos registrados en el backend. Los callbacks están asociados a los device type, es posible usar más de una URL para cada tipo, seleccionando GET o POST, además de poder seleccionar las variables que se desean obtener.

**User:** Lista a cada uno de los usuarios que pertenecen a un grupo y que tienen acceso al backend.

**Group:** Permite gestionar a los grupos perteneciente al backend ya sea agregando usuarios, dispositivos o suscripciones.

### **Plataforma de Análisis y Visualización de Datos para IoT.**

Ubidots es un servicio web que sirve para intercambiar datos tanto en redes de ordenadores como internet, su interoperabilidad se debe a que utiliza un conjunto de protocolos y estándares abiertos. Se encarga de “enviar datos de sensores a la nube, configurar tableros y alertas, conectarse con otras plataformas, usar herramientas de analítica y arrojar mapas de datos en tiempo real. Es decir, hacer una gestión completa de los datos capturados para que las decisiones que toma la compañía sean informadas y precisas” [22].

Ubidots cuenta con las siguientes características:

- Publicar los datos de los dispositivos sobre una API REST.
- Permite a los usuarios mezclar diferentes flujos de datos.
- Estar conectados sin importar el lugar, ya que está basado en la nube.
- Seguridad, es decir, autenticación a través de API o tokens.

Cada usuario posee una clave API, la cual es utilizada como identificador de autenticación al momento de transmitir datos de los sensores a la nube. Esta plataforma permite registrar 30000 datos por mes de forma gratuita, teniendo la opción de pagar un plan de servicio en caso de solicitar más datos [23].

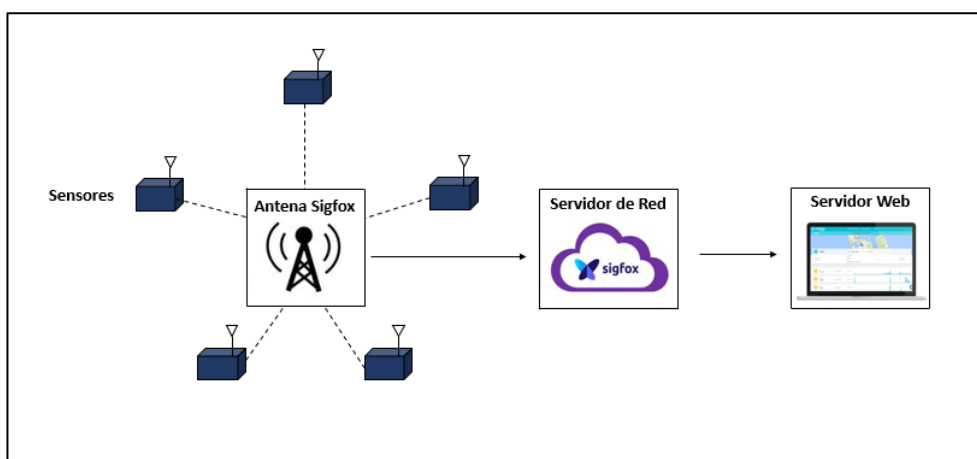
# CAPÍTULO 2

## 2. SISTEMA DE MONITOREO INALÁMBRICO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>.

En el presente capítulo se detallan las herramientas utilizadas para el diseño del sistema de monitoreo, tales como: Infraestructura Sigfox, Plataforma Sigfox, Plataforma Ubidots. Cada una de estas herramientas se encuentran dentro de la Arquitectura IoT propuesta por Gartner [24].

Se definió el despliegue de nodos ubicados en puntos fijos en los sectores norte y centro de la ciudad de Guayaquil, y se eligió una unidad de transporte público para el monitoreo móvil. Se realizó el registro del módulo de comunicación, la revisión de los datos hexadecimales en la plataforma Sigfox y el detalle de los datos trabajados y legibles para el usuario final.

El diseño se basa en una red inalámbrica de nodos con topología tipo estrella, la cual está formada por 9 dispositivos capaces de monitorear los niveles de contaminación de CO<sub>2</sub> del aire. Cabe destacar que este diseño es de característica escalable, además, los nodos cuentan con el grado de protección física para soportar distintas condiciones ambientales.



**Figura 2.1** Diseño del sistema de monitoreo de emisiones de CO<sub>2</sub>.

En la figura 2.1 se presenta un diseño general del sistema de monitoreo, formada por nodos que se comunican con la antena Sigfox, la cual envía la información al

servidor de red Sigfox, y posteriormente presenta gráficamente los datos procesados a través del servidor web.

## 2.1 Arquitectura IoT.

El desarrollo de una solución IoT necesita de una arquitectura que sea escalable, flexible, de alta disponibilidad y segura. Una arquitectura de múltiples niveles facilita la comprensión del funcionamiento de cada uno de los elementos que la conforman, antes de que sean integrados en una aplicación de IoT [25].

La arquitectura IoT formada por 7 capas presenta los elementos físicos (cosas) y los elementos virtuales (servicios y protocolos de comunicación), los cuales se ilustran en la figura 2.2.

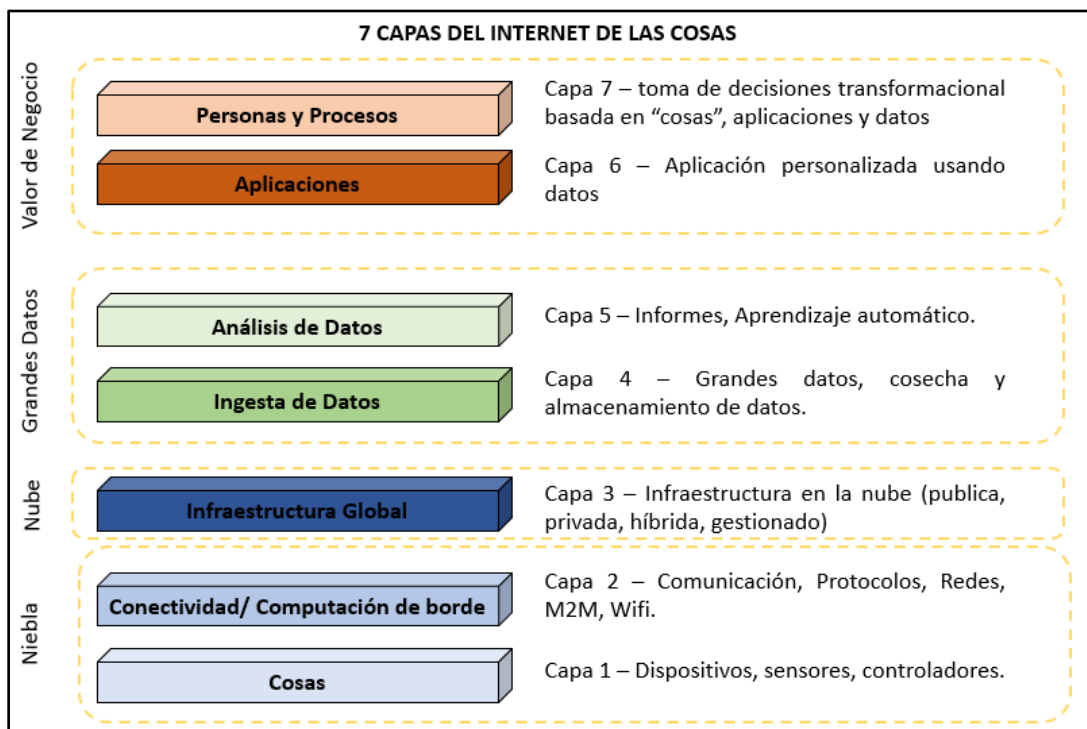


Figura 2.2 Modelo IoT de 7 capas [25].

## Arquitectura de Referencia de una plataforma IoT

Una arquitectura de referencia se guía sobre los siguientes principios: heterogeneidad, seguridad, despliegue, y flexibilidad.

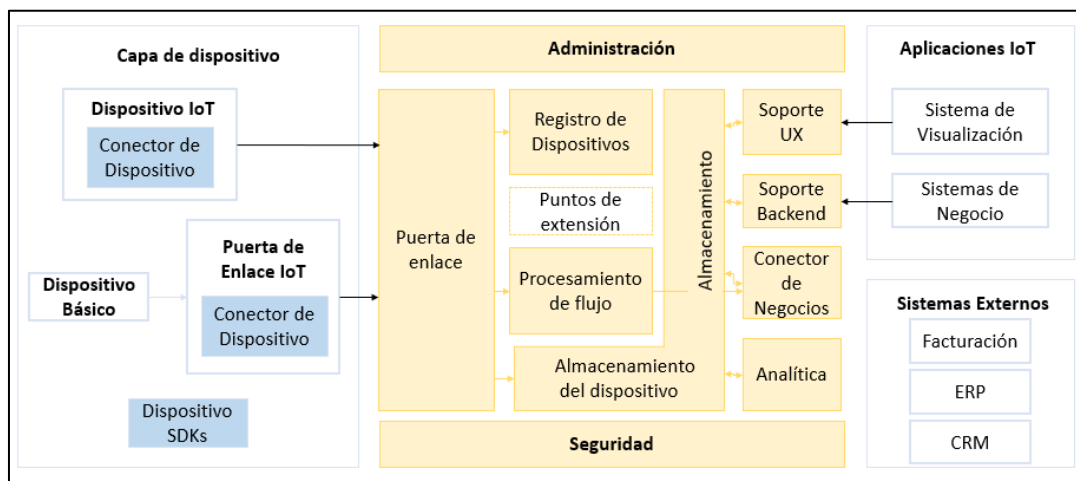


Figura 2.3 Arquitectura de referencia de una plataforma IoT [26].

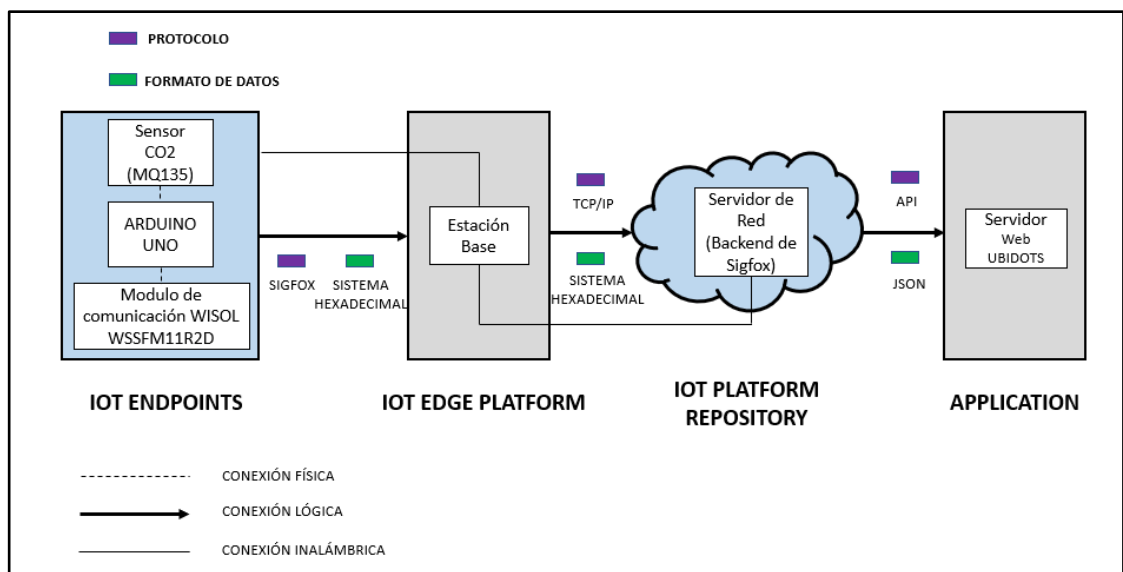
A continuación se describen los bloques que componen las capas de dispositivo, administración y aplicación ilustradas en la figura 2.3:

- **Conector de dispositivo:** representa un dispositivo conectado con la plataforma IoT a través del módulo Device Gateway.
- **Dispositivo SDKs:** conjunto de componentes en diferentes lenguajes y plataformas para simplificar la conectividad con la plataforma.
- **Puerta de enlace:** es la parte de la plataforma que habilita la comunicación remota.
- **Procesamiento de flujo:** se encarga de rutear los datos hacia diferentes destinos, toma acciones en función del contenido.
- **Almacenamiento de dispositivos:** almacena los datos enviados por los dispositivos.
- **Registro de dispositivo:** permite registrar los dispositivos, así como los atributos, metadatos y configuración que maneja un dispositivo.
- **Analítica:** permite realizar tratamiento analítico sobre la información gestionada por la plataforma.
- **Administración:** gestiona todos los bloques de forma unificada.

- **Seguridad:** se encarga de todos los aspectos de seguridad.
- **Soporte UX:** Implementa el acceso a la visualización, resultados de procesos analíticos, alertas, notificaciones.
- **Soporte backend:** permite el acceso a la información de la plataforma, a través de API REST.
- **Conector de negocios:** integra el entorno IoT con sistemas de negocios como CRMs, ERPs, por ejemplo, acceder a bases de datos externas, perfiles de usuarios.

Esta arquitectura permite mapear varias plataformas IoT, entre ellas: Amazon AWS IoT Platform, Sofia2 IoT Platform, Modelo IoT de Gartner [26].

En la figura 2.4, la arquitectura IoT de Gartner está formada por 4 capas conectadas jerárquicamente entre sí: IoT Endpoints, IoT Edge Platform, IoT Platform Repository, IoT Application.



**Figura 2.4** Arquitectura basado en el modelo IoT de Gartner [24].

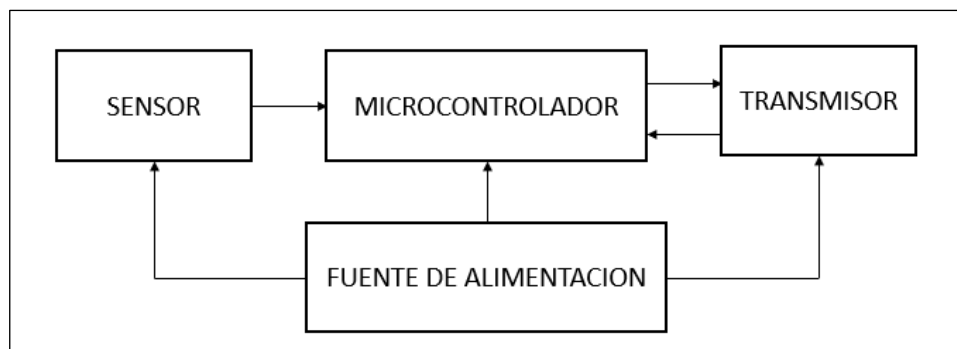
La capa IoT Endpoints cuenta con nodos encargados de medir y transmitir la información sensada. La capa IoT Edge Platform se encarga de enrutar y direccionar los datos. La tercera capa administra los dispositivos que tienen

acceso a la red mediante la recepción de los mensajes, y la cuarta capa almacena y presenta los resultados a través de una interfaz de usuario.

### 2.1.1 IoT Endpoints.

Esta capa corresponde al nodo, el cual está compuesto por 4 bloques: alimentación, sensor, microcontrolador y transmisor. En la figura 2.5 se observan los bloques que componen esta capa.

El bloque de alimentación se encarga de suministrar energía para el funcionamiento de los demás bloques. El bloque sensor detecta los niveles de la variable a medir, el bloque microcontrolador permite interconectar la entrada procedente del sensor, a fin de analizar los datos recopilados, y el bloque transmisor envía la información inalámbricamente a la siguiente capa.



**Figura 2.5** Bloques del nodo [27].

A continuación, se detallan los elementos seleccionados para el nodo.

#### **Sensor.**

Para la medición de dióxido de carbono se utilizó el módulo MQ135, el cual cuenta con una salida analógica de 0 a 2 V que corresponden a valores de concentración en un rango de 400 a 5000 ppm, por lo que ofrece una buena sensibilidad y selectividad al momento de detectar CO<sub>2</sub>.



El módulo requiere 5 voltios de alimentación, y un tiempo de precalentamiento de 24 horas en el primer uso para asegurar precisión en los resultados. Las características técnicas se encuentran en el Anexo A.

### **Microcontrolador**

La placa Arduino Uno lee periódicamente la entrada analógica AN0 del sensor, de manera que realiza la conversión y determina la concentración de CO<sub>2</sub> en ppm, posteriormente envía esta información al módulo de transmisión a través del puerto serie UART. Las características técnicas de la placa de desarrollo se presentan en el Anexo A.

### **Transmisor.**

El módulo de transmisión empleado es el Wisol SFM11R2D, el cual está optimizado para la región de América Latina, que trabaja en un rango de frecuencias de 902 – 928 MHz. El transceptor se encarga de enviar mensajes de carga útil de hasta 12 bytes a las estaciones base. El módulo tiene una MCU integrada, así como un transceptor de RF integrado compatible con UART para la comunicación externa. Las características principales del transmisor se encuentran en el Anexo A.

### **Alimentación**

La exigencia energética de los dispositivos que forman el nodo se describe en la tabla 2.1.

**Tabla 2.1** Requerimientos energéticos del nodo.

| <b>Dispositivo</b> | <b>Corriente (mA)</b> | <b>Voltaje (V)</b> |
|--------------------|-----------------------|--------------------|
| Arduino Uno        | 46                    | 5                  |
| Wisol SFM11R2D     | 175                   | 3.3                |
| Sensor MQ135       | 150                   | 5                  |

Por tanto, para la alimentación del nodo fijo se requiere una batería alcalina de 9 voltios que cubra dichas necesidades. El nodo móvil puede ser energizado con la batería del vehículo.

### 2.1.2 IoT Edge Platform.

La capa IoT Edge Platform está formada por una radio base, la cual tiene conectada una antena Sigfox. Los mensajes transmitidos por el nodo son recibidos por cualquier estación base (gateway) que se encuentre en el área de cobertura. La operadora de red está directamente conectada a la nube, por un enlace punto a punto. Las estaciones base se encargan de detectar, demodular y reportar la información al servidor de red Sigfox.

En la tabla 2.2 se observan las características principales de la antena RO8605NF. Las demás características técnicas de la antena están presentes en el Anexo A.

**Tabla 2.2** Características principales de la antena RO8605NF [28].

| <b>Antena Sigfox RO8605NF</b> |                         |
|-------------------------------|-------------------------|
| <b>Frecuencias</b>            | 860 – 930 MHz           |
| <b>Tipo de antena</b>         | Columna dipolo colineal |
| <b>Ganancia</b>               | 5dBi                    |
| <b>Potencia Máxima</b>        | 50 W                    |
| <b>Patrón</b>                 | Omnidireccional         |

### 2.1.3 Servidor de Red: IoT Platform Repository.

Esta capa está formada por el servidor de red Sigfox, donde se realiza el registro del dispositivo, a través del ID y PAC del módulo de comunicación. Una vez registrado el módulo de comunicación y puesto en marcha el sistema de monitoreo, es posible observar cada uno de los mensajes enviados por los dispositivos registrados, de manera hexadecimal.

### 2.1.4 Servidor Web: IoT Application.

Esta capa corresponde al almacenamiento y monitoreo en tiempo real de la información receptada proveniente del nodo de CO<sub>2</sub>, para lo cual se empleó el servidor web Ubidots.

## 2.2 Red de Nodos inalámbricos.

Una de las características que vuelve efectiva a la red Sigfox, es que los mensajes enviados por los nodos inalámbricos tienen la posibilidad de ser receptados por más de una estación base

El rango de cobertura promedio de cada estación base es de 30 a 50km en zonas rurales. En zonas urbanas, se reduce entre 3 y 10 km. La cobertura puede ser mucho mayor para los nodos al aire libre, donde Sigfox ha conseguido alcances de más de 1.000 kilómetros, lo que la hace especialmente adecuada para zonas despobladas o lejanas.

Con esta información sobre de la dinámica de la red, procederemos a realizar un análisis de la cobertura en la ciudad de Guayaquil y a definir los lugares para los nodos inalámbricos. Actualmente la ciudad cuenta con 13 estaciones base, de las cuales 9 están distribuidas en el norte, 2 en el centro y 2 en el sur, como se puede notar en la figura 2.6.



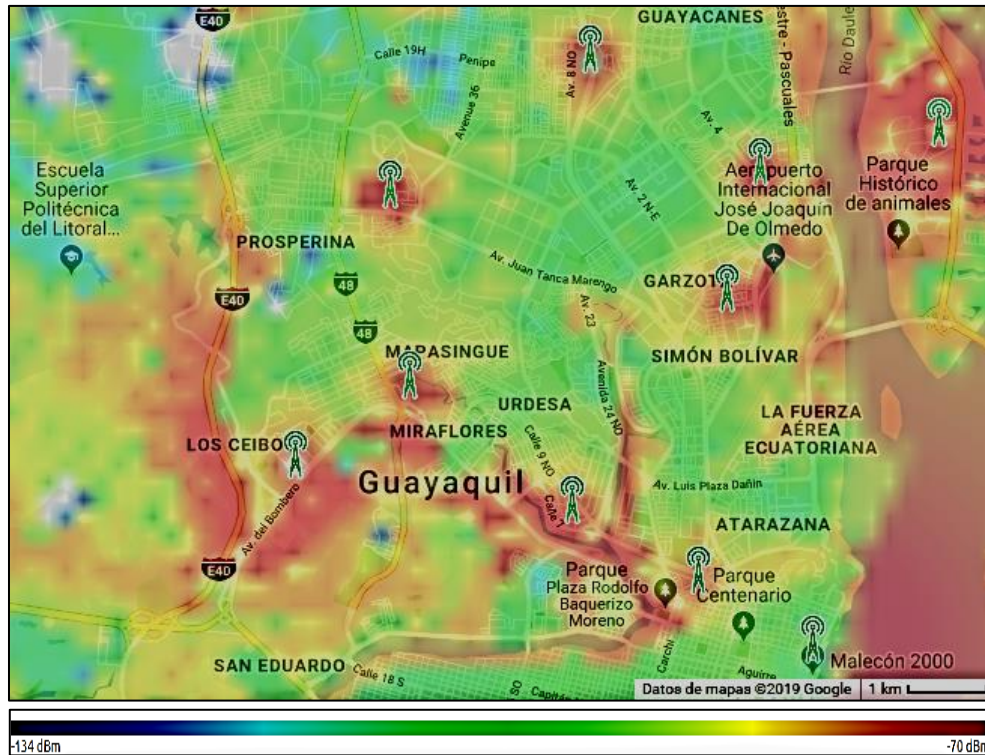
Figura 2.6 Estaciones Base Sigfox en Guayaquil.

La tabla 2.3 detalla la ubicación y la altura asignada a cada una de las estaciones base.

**Tabla 2.3** Ubicación y Altura de las Estaciones Base Sigfox en Guayaquil.

| <b>ESTACIÓN<br/>BASE</b> | <b>UBICACIÓN</b>                                     | <b>ALTURA</b> |
|--------------------------|--|---------------|
|                          | <b>NORTE</b>   |               |
| 1                        | Av. Francisco de Orellana, Local Maquinarias Pesadas | 16m           |
| 2                        | Av. Francisco de Orellana, La Gran Manzana, Yanbal   | 16m           |
| 3                        | Av. 4, 10mo Paseo 16                                 | 6m            |
| 4                        | Av. Juan Tanca Marengo, frente al Colegio Americano  | 16m           |
| 5                        | ESPOL  | 1m            |
| 6                        | Av. Hermano Miguel, 1° PT 2 NE                       | 18m           |
| 7                        | Av. Carlos Julio Arosemena km.4, Patios de Fedenador | 16m           |
| 8                        | Av. Del Bombero frente a Induauto                    | 16m           |
| 9                        | Urdesa, Bálsamos y calle única                       | 18m           |
|                          | <b>CENTRO</b>  |               |
| 10                       | Los Ríos y Piedrahita                                | 18m           |
| 11                       | Consulado de Chile                                   | 135m          |
|                          | <b>SUR</b>   |               |
| 12                       | Av. 36B y Callejón 44C                               | 15m           |
| 13                       | Av. 25 de Julio frente a Bodegas Almagro             | 15m           |

En la figura 2.7 se observa la cobertura de la Red Sigfox en el Norte y Centro de la ciudad.



**Figura 2.7** Cobertura de la Red Sigfox en Guayaquil.

La calidad del enlace está basada en un indicador de intensidad de señal recibida (RSSI por sus siglas en inglés), la cual está descrita en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4** Indicador de Intensidad de señal recibida [29].

| RSSI   | Numero de Estación Base | Indicador de calidad del enlace |
|--|-------------------------|---------------------------------|
| $-114\text{dBm} < \text{RSSI}$                     | 3                       | EXCELENTE                       |
| $-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$ | 3                       | BUENO                           |
| $-114\text{dBm} < \text{RSSI}$                     | 1 – 2                   | BUENO                           |
| $-127\text{dBm} < \text{RSSI} \leq -114\text{dBm}$ | 1 – 2                   | PROMEDIO                        |
| $\text{RSSI} \leq -127 \text{ dBm}$                | alguna                  | LIMITE                          |

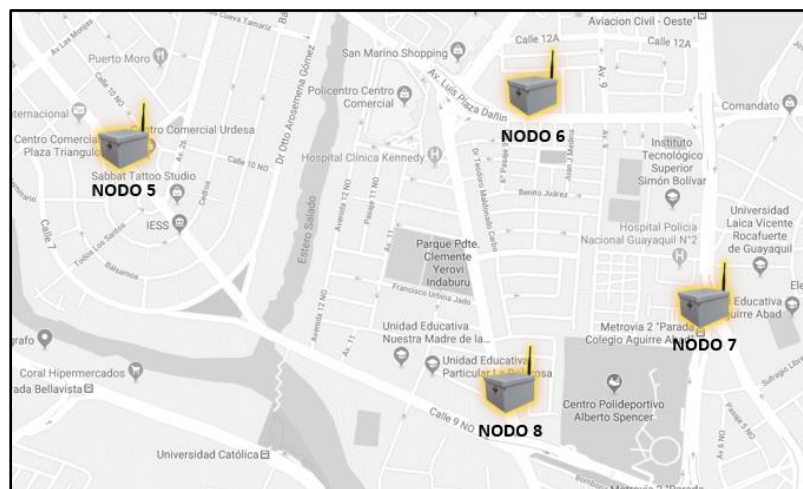
Para la ubicación de los nodos se puso en consideración 2 casos de uso:

**Monitoreo de CO<sub>2</sub> estático.**

El despliegue de los nodos se ha considerado para el centro y norte de la ciudad de Guayaquil, teniendo en cuenta las avenidas con mayor congestión vehicular, tales como la Avenida 9 de octubre, de las Américas, Víctor Emilio Estrada, Quito y Machala. En las figuras 2.8 y 2.9 se puede observar el despliegue llevado a cabo en la zona centro y norte de la ciudad.



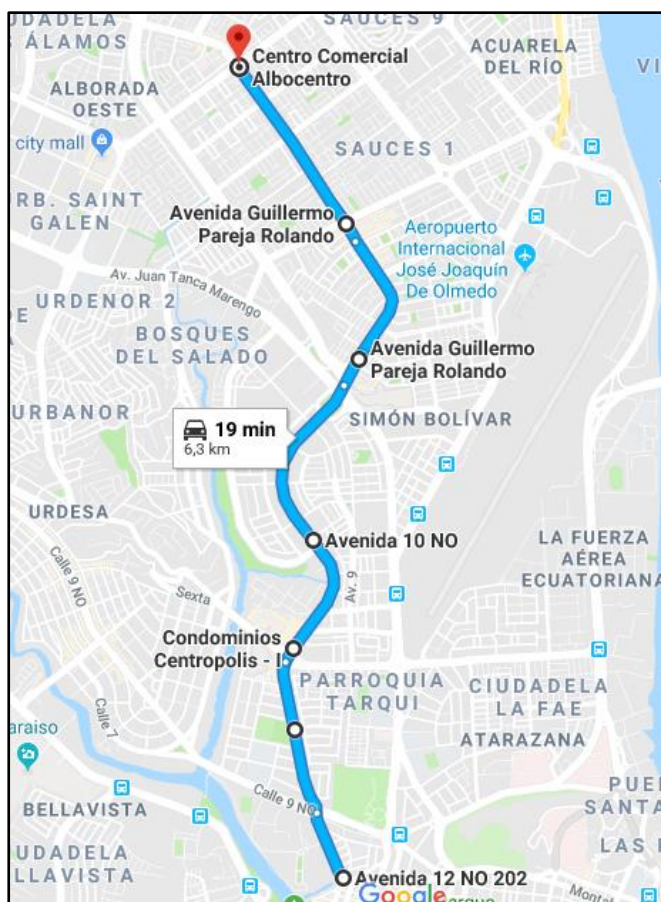
**Figura 2.8** Ubicación de 4 nodos de CO<sub>2</sub> en el centro de la ciudad de Guayaquil (Nodo 1 (Av. 9 de octubre), Nodo 2 (Av. Quito), Nodo 3 (Av. Machala), Nodo 4 (Av. 10 de agosto)).



**Figura 2.9** Ubicación de 4 nodos de CO<sub>2</sub> en el norte de la ciudad de Guayaquil (Nodo 5 (Av. Víctor Emilio Estrada), Nodo 6 (Av. Luis Plaza Dañín), Nodo 7 (Av. De las Américas), Nodo 8 (Av. San Jorge)).

### **Monitoreo de CO<sub>2</sub> móvil.**

El diseño de la red podría ser extendido con la movilidad de los nodos, para ello los dispositivos se ubican en vehículos de uso público como autobuses, unidades de la metrovía o taxis.



**Figura 2.10** Parte del recorrido de la línea 85.

La figura 2.10 muestra una parte de la trayectoria que siguió el prototipo, ubicado en un bus de transporte público.

# CAPÍTULO 3

## 3. IMPLEMENTACIÓN DE PRUEBA PARA EL MONITOREO INALÁMBRICO DE EMISIONES DE CO<sub>2</sub>.

A continuación, se presenta una descripción minuciosa del prototipo de prueba para el monitoreo inalámbrico de emisiones de CO<sub>2</sub>. Para un mejor entendimiento, se dividirá este proyecto en dos; una parte tangible, hardware y otra intangible, software.

Con respecto a la parte del hardware, se detallan las conexiones de los componentes, sensor y módulo de comunicación al Arduino; se provee información sobre la fuente de alimentación del sistema y se presenta la imagen del prototipo terminado.

En cuanto al software, se explica el pseudocódigo que permite obtener los niveles de CO<sub>2</sub>.

### 3.1 Hardware del Sistema.

#### 3.1.1 Esquema de conexión.

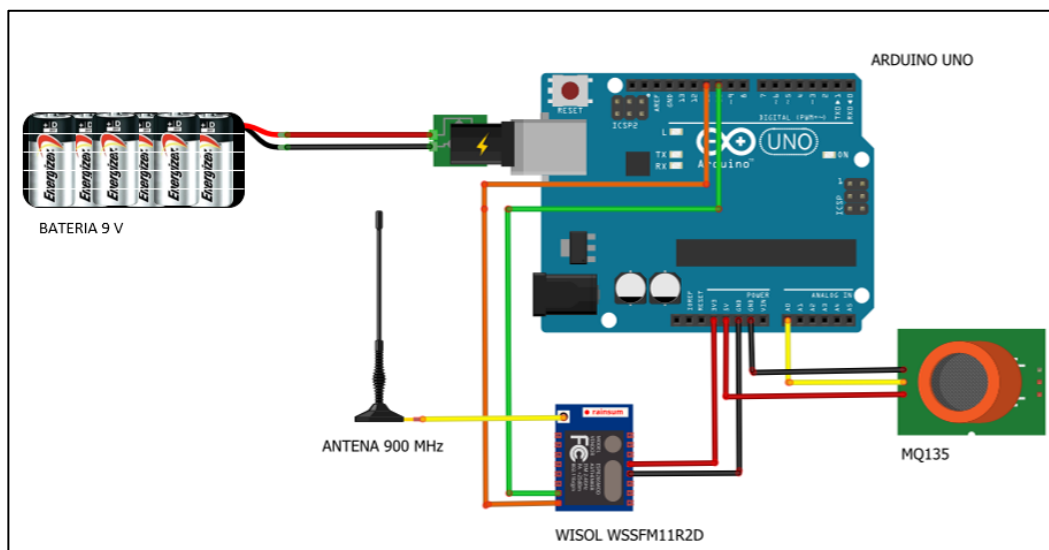
A continuación, se detallan las conexiones de los dispositivos que forman parte del nodo.

**Tabla 3.1** Conexión de los dispositivos del Nodo.

| NODO           |         | Arduino Uno |
|----------------|---------|-------------|
| Sensor MQ135   | VCC     | Pin 5v      |
|                | GND     | Pin GND     |
|                | AOUT    | Pin A0      |
| Wisor SFM11R2D | VCC     | Pin 3.3v    |
|                | GND     | Pin GND     |
|                | UART Tx | Pin 10      |
|                | UART Rx | Pin 11      |



En la figura 3.1 se observa la conexión física entre los dispositivos de los bloques de: alimentación, sensor, procesamiento y transmisión. Este esquema de conexión servirá para el monitoreo estático y móvil de CO<sub>2</sub>.



**Figura 3.1** Conexión física del nodo sensor.

### 3.1.2 Fuente de alimentación del sistema.

La fuente de alimentación del prototipo es una batería de 9 V, formada por 6 pilas tipo D de 1.5 V, se decidió usar estos elementos debido a que una sola pila tiene una capacidad típica de 20000 mAh, siendo una buena opción para cubrir con los requerimientos energéticos del nodo. En la tabla 3.2 se presenta el consumo de corriente de los dispositivos que forman parte del nodo, durante la etapa de transmisión.

**Tabla 3.2** Consumo de energía del nodo.

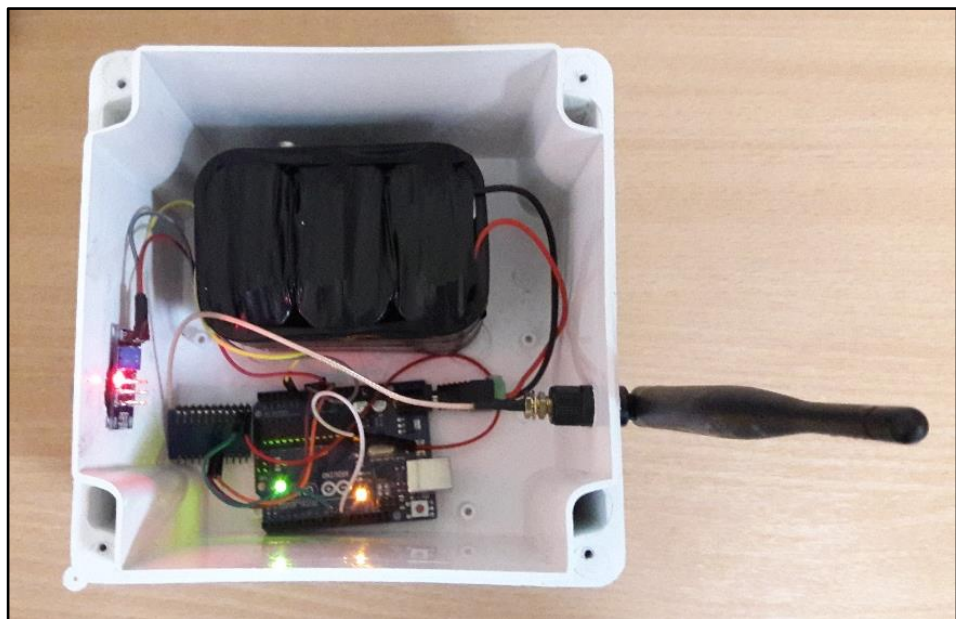
| DISPOSITIVOS   | CONSUMO DE ENERGÍA |
|----------------|--------------------|
| Arduino Uno    | 46 mA              |
| Wisol SFM11R2D | 170 mA             |
| Sensor MQ135   | 150 mA             |
| <b>TOTAL</b>   | <b>366 mA</b>      |

La batería de 9 V presenta 20000 mAh por lo que su tiempo de duración es de:

$$\text{Tiempo de duracion de batería (9 V)} = \frac{20000 \text{ mAh}}{366 \text{ mA}} \approx 55 \text{ horas}$$

### 3.1.3 Prototipo de prueba.

En la figura 3.2 se observan el prototipo del sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub>.



**Figura 3.2** Prototipo del sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub>.

Los elementos que forman parte del hardware se encuentran en una caja que tiene como dimensiones 15 x15 x11cm, está fabricada en polipropileno de alta resistencia, ideal para ser alojada en lugares de alta humedad. En las caras laterales se encuentran los espacios destinados para la ubicación del sensor de CO<sub>2</sub>, la antena y un interruptor de encendido del sistema.

## **3.2 Configuración del Software del Sistema.**

### **3.2.1 Pseudocódigo para el envío de datos al servidor web.**

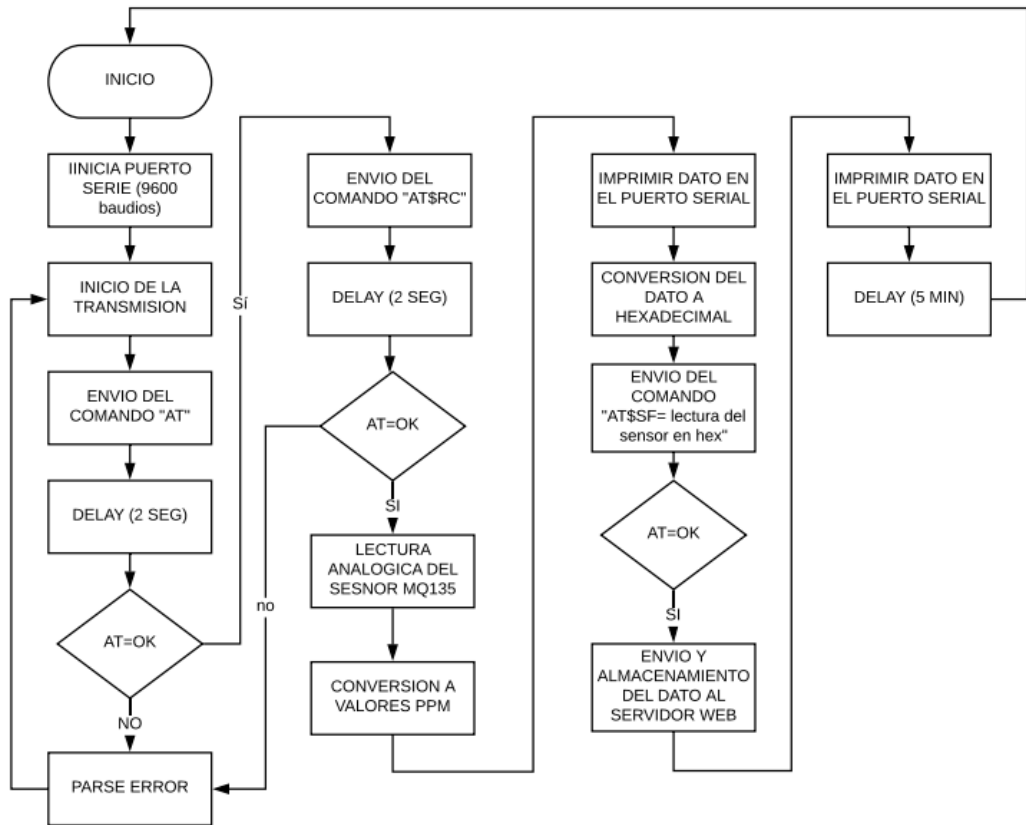
Este pseudocódigo se encarga de comprobar la disponibilidad de la red Sigfox a partir de la petición enviada a través del comando AT, de igual manera recibe y acepta las peticiones de: reinicio del módulo de comunicación antes de enviar un mensaje, así como la lectura y almacenamiento de los datos del sensor en el servidor web a través de los comandos AT\$RC y AT\$SF, respectivamente.

1. Inicio.
2. Inicializar el puerto serie en 9600 baudios.
3. Iniciar la transmisión.
4. Enviar comando AT.
5. Si (AT = OK) entonces.
6.       Enviar comando AT\$RC.
7. Si no.
8.       Escribir Parse Error y repetir la transmisión.
9. Si (AT\$RC=OK) entonces.
10.      Enviar comando AT\$SF = lectura del sensor en HEX.
11. Si no.
12.      Escribir Parse Error y Repetir la transmisión.
13. Si (AT\$SF=OK) entonces.
14.      Enviar y almacenar el dato en el servidor web.
15.      Escribir el dato en el puerto serial.
16. Si no.
17.      Escribir Parse Error y repetir la transmisión.
18. Final.

### **3.2.2 Diagrama de flujo para el envío de datos al servidor web.**

A partir del pseudocódigo descrito anteriormente se realizó un diagrama de flujo para el envío de datos al servidor web, el cual se ilustra en la figura 3.2. Luego de cada petición mediante los comandos AT, se establecen los

retardos oportunos, en caso de que alguna petición no sea aceptada se iniciará nuevamente la transmisión.



**Figura 3.2** Diagrama de flujo para el envío de datos al servidor web.

En el diagrama de flujos se mencionan comandos AT, debido a que el módulo Wisol de Sigfox al ser un modem, requiere de dichos comandos para enviar la información al servidor web. Los comandos empleados se describen en la tabla 3.3.

**Tabla 3.3** Comandos AT usados en la programación del módulo Wisol SFM11R2D.

| COMANDOS AT | DESCRIPCION   | RESPUESTA |
|-------------|---|-----------|
| AT          | Test de comunicación  | OK        |
| AT\$RC      | Reset del módulo, debe utilizarse antes de enviar un mensaje por Sigfox | OK        |
| AT\$SF      | Comando para enviar datos (hasta 12 bytes en hexadecimal)               | OK        |

La programación del sensor MQ135 y el módulo de comunicación se encuentran en el anexo B. En el anexo C se definen los pasos a seguir para el registro del módulo de comunicación en la plataforma Sigfox y, la creación del servidor que posibilita la presentación de los datos correctos al usuario final.

Para el contexto presente se ha empezado con esta implementación previa del sistema de monitoreo inalámbrico, que tiene las siguientes características: existen un nodo estático y uno móvil. Los lugares seleccionados para el monitoreo fijo de CO<sub>2</sub> se llevaron a cabo en un ambiente con alta contaminación del aire.

A continuación, se describen cada uno de los escenarios correspondientes al tipo de monitoreo ejecutado.

### **3.3 Escenarios para el monitoreo de CO<sub>2</sub>.**

#### **3.3.1 Monitoreo estático:**

El ambiente de mayor contaminación corresponde a una avenida con alto congestionamiento vehicular, como es el caso de la Avenida San Jorge, realizando mediciones en un periodo de 5 días, de los cuales 3 pertenecen a la semana laboral y los dos restantes al fin de semana.

Las pruebas para los días martes 29, miércoles 30 y jueves 31 de enero se efectuaron en la mañana, tarde y noche entre las 9:00 – 10:00, 12:00 – 13:00 y 18:00 – 19:00 respectivamente, mientras que para los días sábado 2 y domingo 3 de febrero las mediciones fueron realizadas de 10:00 – 11:00. Los datos fueron tomados cada 3 minutos, por lo que en un día se consiguieron 20 valores.

La ubicación geográfica en donde se instaló el nodo se indica en la Figura 3.3.

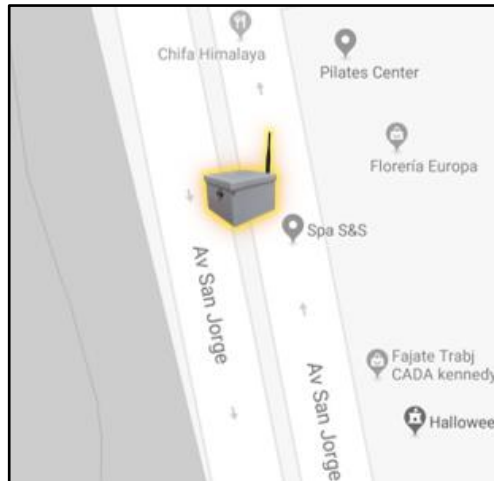


Figura 3.3 Ubicación geográfica para el Escenario 2.

### 3.3.2 Monitoreo móvil:

Para comprobar la aplicabilidad móvil del sistema se emulo una parte del recorrido de un autobús, que va desde la Avenida de las Américas (Terminal Terrestre) hasta la avenida Delta (Universidad de Guayaquil).

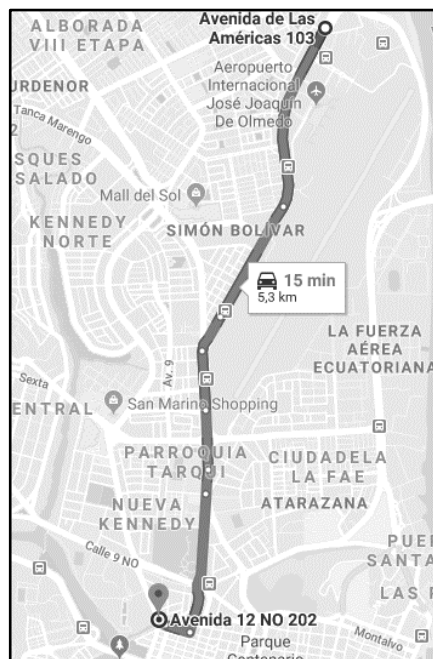


Figura 3.4 Parte de la ruta de un autobús.

La medición se llevó a cabo el martes 5 de febrero de 13:00 a 13:30, esta ruta tiene una distancia de 5,3 Km. Los datos fueron recolectados cada 2 minutos, de modo que se obtuvieron 30 valores.

# CAPÍTULO 4

## 4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

Los datos presentados a continuación describen el monitoreo de CO<sub>2</sub> en un punto específico de la ciudad, Av. San Jorge y Arquitecto Federico Gonzáles, donde existe un paradero de alrededor de 10 buses incluido el alimentador de la metrovía. Además, detalla el resultado de una prueba móvil realizada desde el Terminal Terrestre hasta la Universidad de Guayaquil.

Se hará una descripción por día y hora, en la cual se determinarán los valores máximo y mínimo, el valor promedio y la desviación de los niveles de CO<sub>2</sub>. Presentaremos un total de 12 gráficas generadas en el transcurso de seis días de pruebas. Las gráficas presentadas fueron extraídas del servidor web, Ubidots.

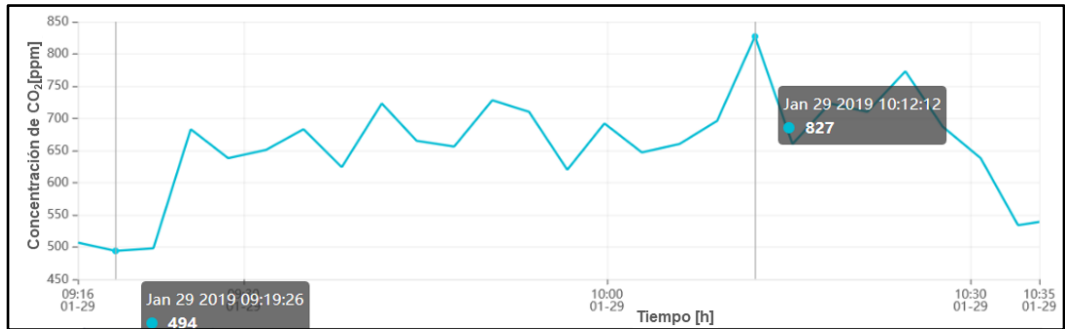
### 4.1 Mediciones de CO<sub>2</sub> en av. San Jorge y arquitecto Federico González.

#### 4.1.1 Medición en días laborables.

**29 de enero del 2019**

##### **Horario I**

La figura 4.1, la generó automáticamente el servidor web mientras eran receptados los datos, estos fueron tomados desde las 9:16 hasta las 10:30. Se receptaron un total de 27 datos y a través de indicadores se observa los valores, máximo y mínimo, receptados. El valor mínimo de concentración de CO<sub>2</sub> es 494 ppm, mismo que se obtuvo a las 9:19, mientras que el valor máximo es 827 ppm receptado a las 10:12, este último resultado perjudica la salud de las personas, como sostienen los datos teóricos presentados en el Capítulo 1, además, existen algunos tramos donde el nivel de concentración es mayor a 700 ppm, siendo este el valor normal para las ciudades.



**Figura 4.1** Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 9:16 y 10:30 con indicadores.

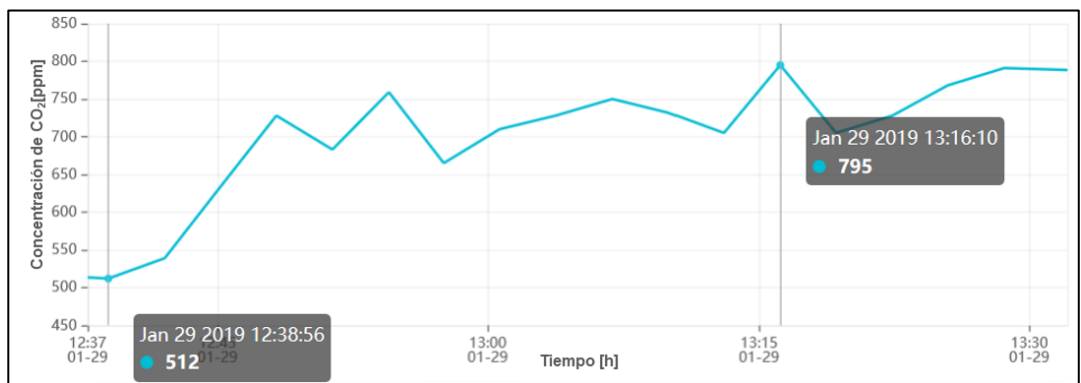
### Media y Desviación estándar de los datos.

La media de los valores obtenidos es de 654 ppm y la desviación estándar tiene un valor de 81 ppm. Estos valores son aceptables para ciudades, por tanto, no es una situación riesgosa, aunque se deben tomar medidas para que no sigan en aumento.

### Horario II

En la figura 4.2, tomada del servidor web, muestra los datos receptados entre las 12:38 hasta las 13:28. Se tiene para esta prueba un total de 18 datos. El valor mínimo de concentración de CO<sub>2</sub> es 512 ppm, obtenido a las 12:38, mientras que el valor máximo es 795 ppm, capturado a las 13:16.

Se observan tan solo cuatro datos por debajo de las 700 ppm, los demás están a nivel o más altos, lo cual implica un exceso en los valores normales correspondientes para las ciudades.



**Figura 4.2** Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 12:38 y 13:28 con indicadores.



### Media y Varianza de los datos.

La media de los datos fue de 691 ppm y la desviación estándar es de 87 ppm.

### Horario III

Las pruebas de la figura 4.3, se realizaron entre las 18:16 y las 19:06, fueron las últimas realizadas en el día, se puede notar que los datos varían entre los 550 ppm y 850 ppm. En estas mediciones hubo exceso de tráfico, debido a la hora pico. Se observan los indicadores de los valores máximos y mínimos receptados. El valor mínimo de concentración de CO<sub>2</sub> es 557ppm, captado a las 19:06, mientras que el valor máximo es de 786 ppm, obtenido a las 18:19. Prevalecen datos mayores a las 700 ppm, que es lo normal es las ciudades.

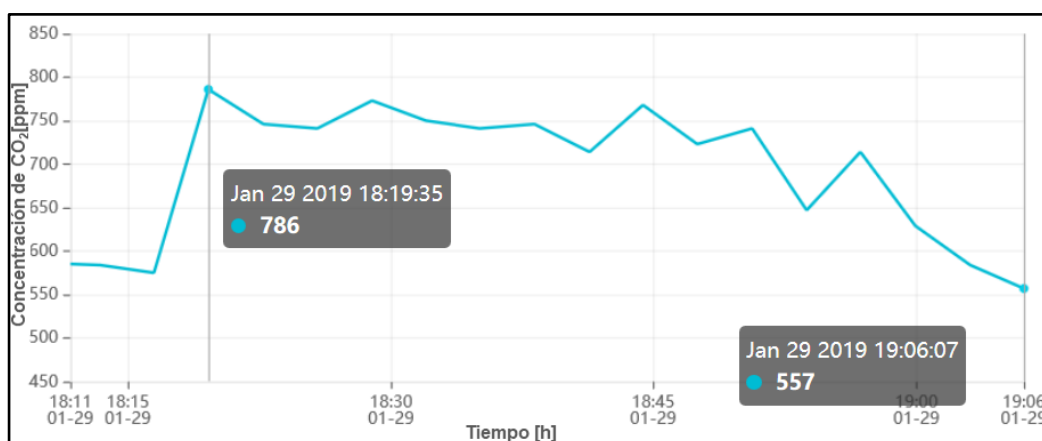


Figura 4.3 Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 18:13 y 19:06 con indicadores.

### Media y Varianza de los datos.

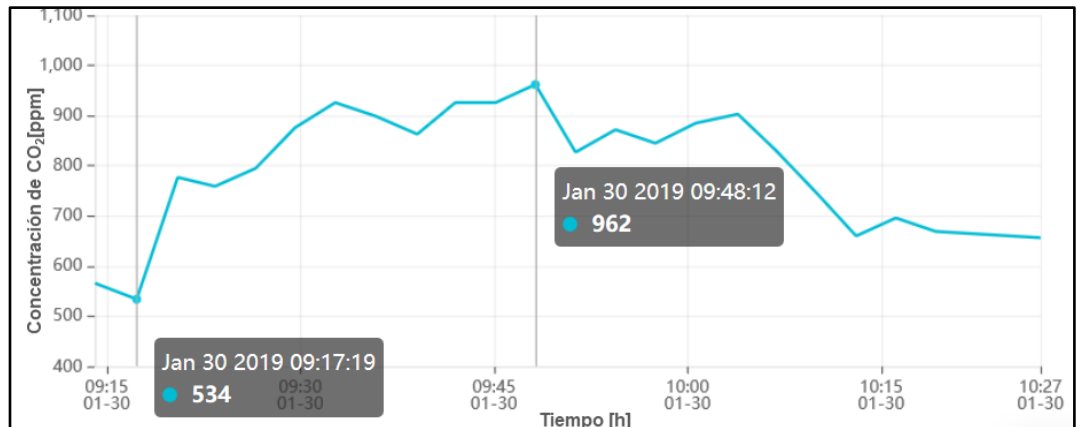
La media de estos datos es de 696 ppm y la desviación de los datos es de 7ppm.

### 30 de enero del 2019.

#### Horario I

La figura 4.4 resulta de los datos receptados entre las 9:17 hasta las 10:19. Se tiene un total de 22 datos que se encuentran entre los 500 ppm y 1000 ppm. Los valores máximo y mínimo de esta prueba son: 962 ppm y 534 ppm, respectivamente. El valor máximo fue receptado a las 9:48 mientras

que el dato mínimo se encuentra a las 9:17. Los datos de esta prueba han excedido los 800 ppm, valor para el cual las personas ya empiezan a sentir malestares como dolor de cabeza y fatiga, lo cual fue comprobado mediante la experimentación.



**Figura 4.4** Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 9:17 y 10:19 con indicadores.

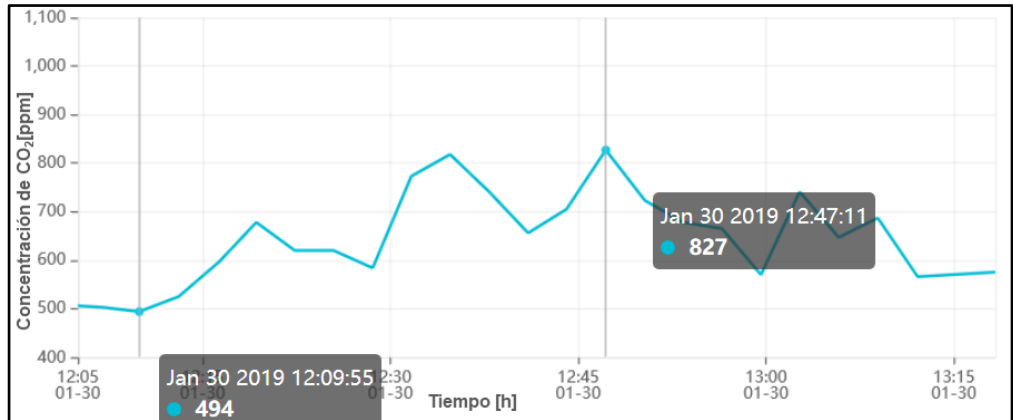
### **Media y Desviación de los datos.**

La media para los datos de esta prueba es de 806 ppm y la desviación tiene un valor de 119.

### **Horario II**

La figura 4.5 muestra los niveles de CO<sub>2</sub> medidos entre las 12:09 y las 13:12. Los datos se encuentran entre 500 y 850 ppm, el total de estos es de 22. Se observa que 827 ppm es el valor máximo de concentración de CO<sub>2</sub>, dado a las 12:47 y, el valor mínimo es 494 ppm que se obtuvo a las 12:07.

Las mediciones que pasaron los 800 ppm fueron 2, pero inmediatamente decayeron a niveles más bajos, como las pruebas se realizaron en una parada de bus, estas lecturas fueron probablemente ejecutadas al paso de un bus urbano con emisión exagerada de CO<sub>2</sub>.



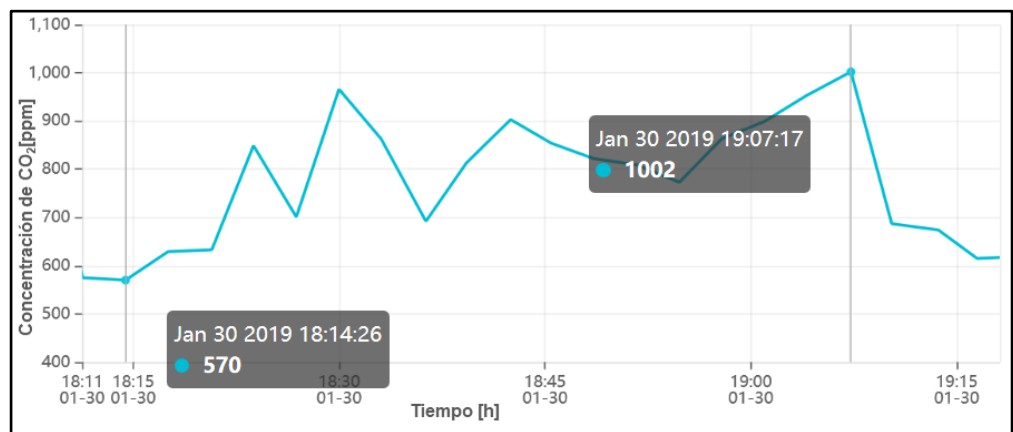
**Figura 4.5** Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 12:09 y 13:12 con indicadores.

### Media y Desviación de los datos.

La media de estos datos es de 655 ppm y la desviación es 94,15 ppm.

### Horario III

En la figura 4.6, contiene los datos recibidos entre las 18:13 hasta las 19:06. Se tiene para esta prueba un total de 22 datos. El valor mínimo de concentración de CO<sub>2</sub> es 570 ppm, receptado a las 18:14, mientras que el valor máximo es 1002 ppm, capturado a las 19:07. Se nota varios tramos sobre los 800 ppm, lo cual es razonable porque en la hora que se realizaron las pruebas existe alta afluencia vehicular.



**Figura 4.6** Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 18:13 y 19:06.

### Media y Desviación de los datos.

La media de los datos es de 797 ppm y la desviación está en 134 ppm.

### 31 de enero del 2019.

#### Horario I

En la figura 4.7 se encuentran los datos correspondientes a la medición realizada entre las 8:42 y 9:57. Se obtuvieron en total 25 datos, de los cuales se tiene un valor mínimo de 579 pm y un máximo de 899 ppm. Solo se encontró un valor sobre los 800 ppm, lo cual revela que a esta hora del día no hubo mucha concurrencia de transportes responsables de emisión exagerada de CO<sub>2</sub>.

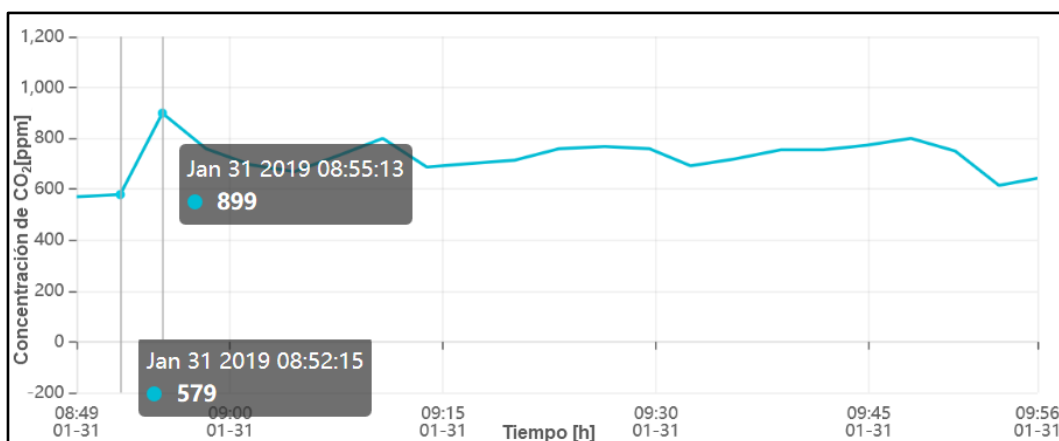


Figura 4.7 Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 8:42 y 9:57.

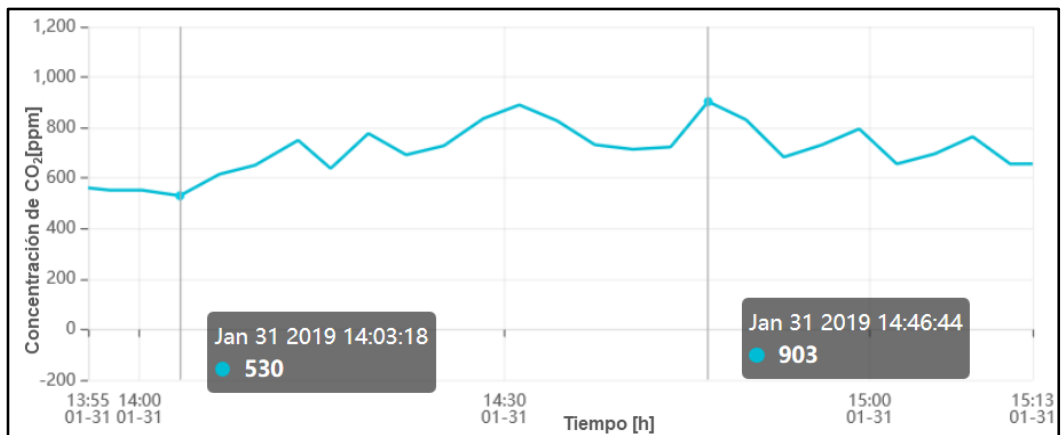
### Media y Desviación de los datos.

La media de este conjunto de datos es de 732 ppm, y la varianza es 111 ppm.

#### Horario II

Las pruebas de la figura 4.8, se realizaron entre las 13:53 y las 15:11, se puede notar que los datos varían entre los 450 y 950 ppm. En estas mediciones hubo exceso de tráfico, por la hora pico. Se observan los indicadores de los valores máximos y mínimos receptados. El valor mínimo de concentración de CO<sub>2</sub> es 530 ppm, captado a las 14:03, mientras que el valor máximo es de 903 ppm, obtenido a las 14:46. Hay mayor cantidad de

datos entre los 700 y 903 ppm lo cual implica un exceso en los niveles de concentración de CO<sub>2</sub>.



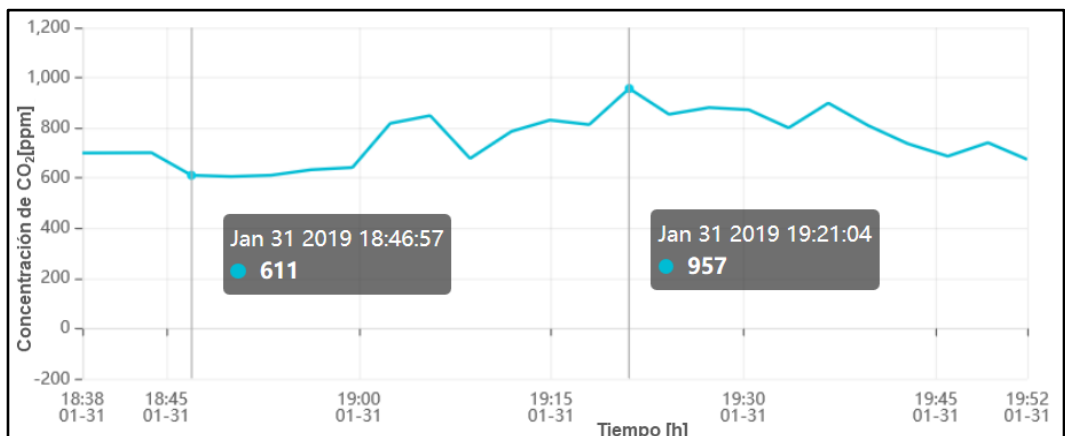
**Figura 4.8** Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 13:53 a 15:11.

### Media y Desviación de los datos.

La media de estos datos es 717 ppm, tiene una varianza de 98 ppm.

### Horario III

En la figura 4.9, contiene los datos recibidos entre las 18:46 hasta las 19:21. Para esta prueba un total de 25 datos que se encuentran graficados entre los 500 y 1100 ppm. El valor mínimo de concentración de CO<sub>2</sub> es 611 ppm, receptado a las 18:46, mientras que el valor máximo es 957 ppm, capturado a las 18:108h. Los valores perjudiciales se observan entre las 19:10 y las 19:35, horario que concuerda con la hora pico u hora de alto tráfico vehicular.



**Figura 4.9** Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 18:43 y 19:52.

### Media y Desviación de los datos.

La media de estos datos es 758 ppm, tiene una varianza de 106 ppm

Los datos presentados han sido realizados en días laborables, por lo que en las horas picos se han observado valores que exceden los niveles normales, las consecuencias de estas emisiones se verán a largo plazo, sin embargo, en nuestros días ya logramos palpar el efecto de lo que se ha venido dando en años, pues en los primeros estudios de CO<sub>2</sub> los niveles de concentración estaban por los 280 ppm, luego, hasta el 2010 subieron a 400 ppm y ahora al 2018 el promedio de las emisiones está sobre los 700 ppm.

#### 4.1.2 Medición de fin de semana.

##### 2 de febrero del 2019.

Los datos observados en la figura 4.10, pertenecen al monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 10:35 -11:15. Se obtuvieron 20 datos. Los indicadores permiten observar un valor máximo de 710 ppm que se midió a las 11:03 y un valor mínimo de 561 ppm, obtenido a las 11:00. Estas pruebas se realizaron un sábado, día en el que no hay mucha afluencia de buses, los resultados muestran valores de concentración de CO<sub>2</sub> aceptables.

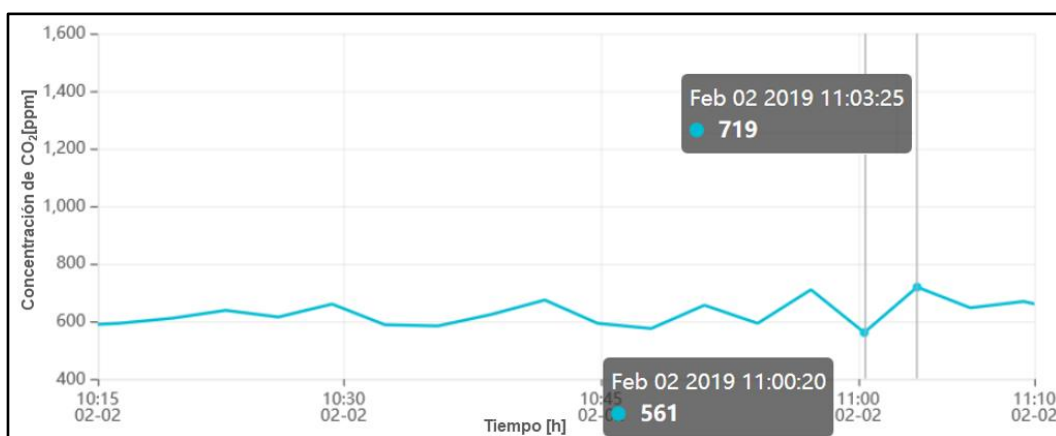


Figura 4.10 Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 10:35 -11:15.

### Media y Desviación de los datos.

La media de los datos es de 626 ppm, mientras que la desviación se ubica en 45 ppm.

### 3 de febrero del 2019

#### Horario I

En la figura 4.12 se observan los detalles de los datos recibidos por el servidor web entre las 10:00 y las 10:50. Fueron obtenidos 9 datos, de los cuales se tiene un máximo de 737 ppm y un valor mínimo de 480 ppm. Se puede notar que solo en una ocasión se exceden los 700 ppm, eso porque el día de la prueba fue domingo, un día donde nos hay muchos buses en circulación.

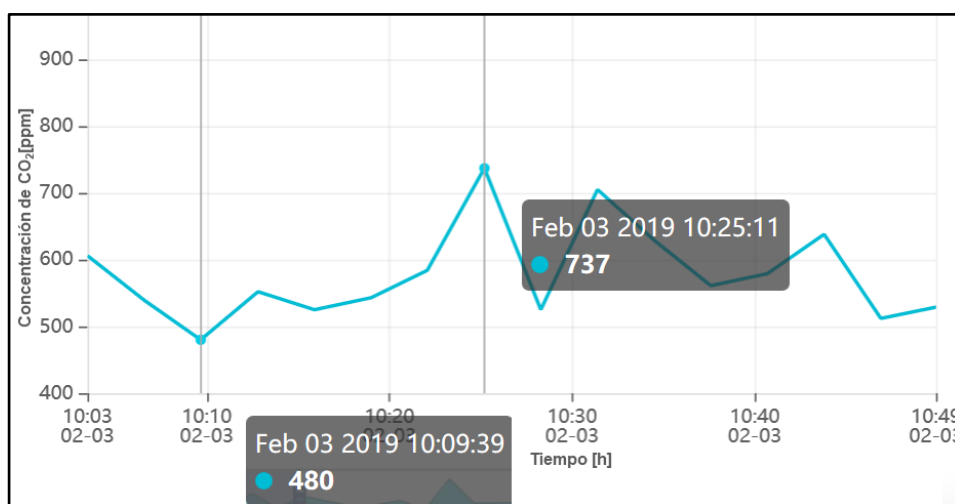


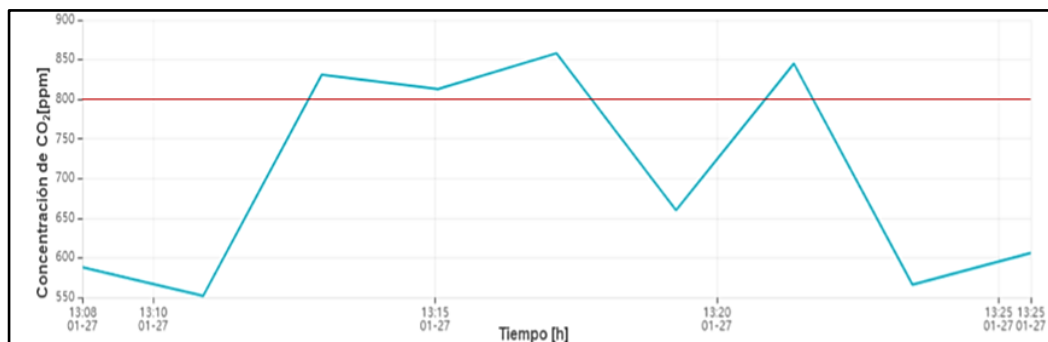
Figura 4.11 Monitoreo de CO<sub>2</sub> entre las 11:18 -12:11.

### Media y Desviación de los datos.

La media de los datos obtenidos en esta prueba es de 607 ppm. La varianza es de 77 ppm. A través de estas pruebas se puede constatar que el transporte contribuye como fuente considerable de contaminación de CO<sub>2</sub> en la avenida, porque los fines de semana, donde no hay mucha afluencia de transporte público, el promedio de las emisiones es de 617 ppm, mientras que el promedio de los días laborables es de 723 ppm.

### Monitoreo Móvil.

La gráfica 4.12 corresponde al monitoreo realizado desde la Av. De Las Américas, Terminal Terrestre, hasta la Av. Delta, Facultad de Arquitectura de la Universidad de Guayaquil.



**Figura 4.12** Monitoreo móvil

A pesar de que esta prueba se llevó a cabo un domingo, se obtuvieron concentraciones mayores a las 800 ppm. En general, los resultados obtenidos muestran un exceso de concentración de CO<sub>2</sub> causada principalmente por el transporte.

#### 4.2 Costo de la implementación y mantenimiento de la red.

El costo de la implementación de la red se detalla en la tabla 4.1, en donde se observa el número de componentes utilizados con su correspondiente precio, de modo que el costo del desarrollo de un nodo es de 46 dólares por lo que la red de sensores al estar formada por 5 nodos su costo es de 230 dólares.

**Tabla 4.1** Costo de la implementación de la red.

| N. | Dispositivo                      | Valor Unitario (\$) | Cantidad     | Importe (\$) |
|----|----------------------------------|---------------------|--------------|--------------|
| 1  | Módulo de comunicación           | 20                  | 5            | 100          |
| 2  | Módulo sensor de CO <sub>2</sub> | 7                   | 5            | 35           |
| 3  | Arduino Uno                      | 10                  | 5            | 50           |
| 4  | Antena                           | 9                   | 5            | 45           |
|    |                                  |                     | <b>TOTAL</b> | <b>230</b>   |



En la tabla 4.2 se detalla el costo de mantenimiento de la red, en donde la conexión Sigfox se refiere a la suscripción por un año y el envío de 140 mensajes por día, además se indica el costo de la plataforma Ubidots durante un año para 5 dispositivos y con la capacidad de recibir 10 millones de datos.

**Tabla 4.2 Costo del mantenimiento de la red por año.**

| <b>Descripción.</b> | <b>Precio (\$)</b> |
|---------------------|--------------------|
| Conexión Sigfox     | 35                 |
| Plataforma Ubidots  | 240                |
| Batería             | 900                |
| <b>TOTAL</b>        | <b>9300</b>        |

# CAPÍTULO 5

## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### 5.1 CONCLUSIONES.

Se obtuvo un sistema de monitoreo inalámbrico capaz de medir y desplegar la información en tiempo real de los niveles de CO<sub>2</sub>, desde un servidor de red a un servidor web. La red es segura, escalable, apta para soportar una gran cantidad de nodos.

El prototipo puede ser instalado en distintas áreas que requieran una solución de IoT para el monitoreo de otras variables de ambiente, como temperatura, humedad, la calidad del aire y más.

El sistema de monitoreo de CO<sub>2</sub> está basado en la tecnología Sigfox, la cual otorga facilidad de uso, debido a que existe una infraestructura de red desplegada y lista para ser usada en gran parte de la ciudad.

Los datos recolectados pueden ser accedidos y consultados en internet mediante un servidor web, a través de reportes gráficos que indican los niveles de CO<sub>2</sub> a determinadas horas del día, el sitio web cuenta con la opción de descargar dichos reportes para que sean analizados por las autoridades pertinentes.

### 5.2 RECOMENDACIONES.

El módulo sensor requiere un periodo de inicio en un arranque en frío de aproximadamente 24 horas y un periodo de calentamiento de 5 minutos antes de realizar las mediciones, con la finalidad de obtener precisión en los datos recolectados.

Para un futuro diseño del nodo, se puede reemplazar la placa Arduino Uno por un microcontrolador, a fin de reducir las dimensiones de la caja

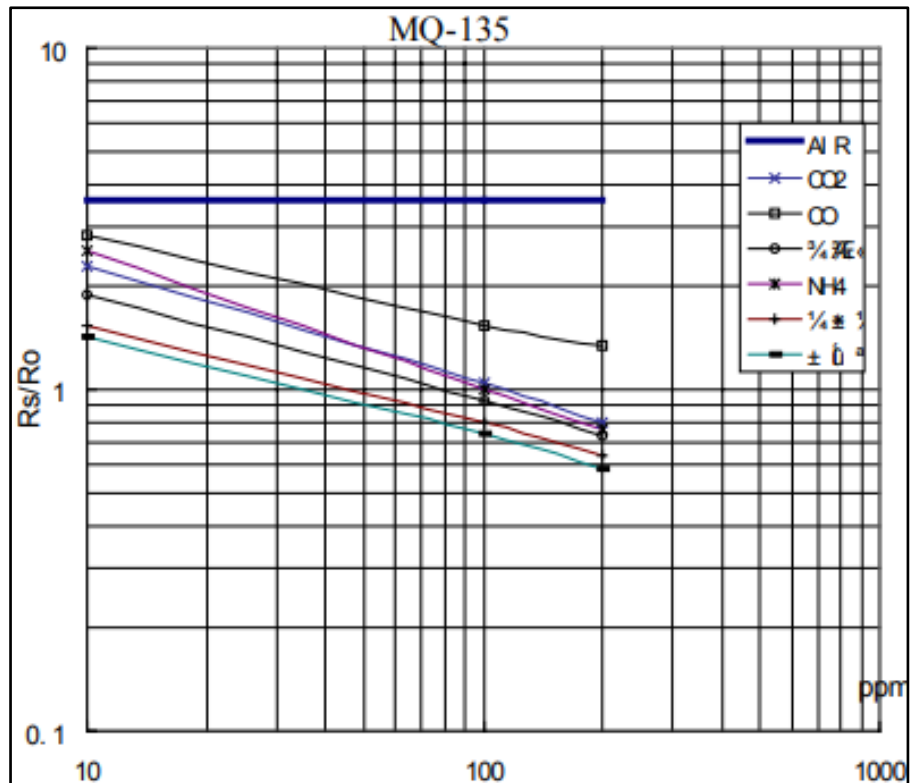
contenedora de los dispositivos, además de poder alargar la vida útil de la batería con la programación del microcontrolador en modo Sleep.

Para el monitoreo móvil, como fuente de alimentación es posible utilizar la batería de los autobuses, mientras que, para el monitoreo estático, existe la alternativa de recargar las baterías a través de paneles solares.

## ANEXO A. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

### Módulo sensor de CO<sub>2</sub> MQ135.

| ESPECIFICACIONES                         |                 |
|--|-----------------|
| Voltaje de operación                     | 5v              |
| Corriente de operación                   | 150mA           |
| Potencia de consumo                      | 800mW           |
| Tiempo de Pre calentamiento<br>(1er uso) | Mas de 24 Horas |



### Placa Arduino Uno.

| ESPECIFICACIONES                 |           |
|----------------------------------|-----------|
| Microcontrolador                 | Atmega328 |
| Voltaje operativo                | 5v        |
| Pines de Entrada/Salidas Digital | 14        |
| Pines de Entradas Análogas       | 6         |
| Memoria Flash                    | 32 KB     |
| SRAM                             | 2 KB      |
| EEPROM                           | 1KB       |

### Módulo de comunicación Sigfox.

| CARACTERISTICAS            |   |
|----------------------------|---|
| Alimentación               | 3.3 v   |
| Consumo de energía         | 170 mA en Trasmisión<br>32 mA en la Recepción<br>2.5uA en reposo. |
| Frecuencia RC4             | Tx: 920.8 MHz<br>Rx: 922.3 MHz                                    |
| Potencia Radiada máxima Tx | +24 dBm   |
| Sensibilidad               | -129 dBm  |

### Antena Sigfox RO8605NF.

| CARACTERISTICAS    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| Tipo de antena     | Columna dipolo colineal |
| Frecuencias        | 860 – 930 MHz           |
| Ganancia           | 5dBi                    |
| VSWR               | 2:1                     |
| HPBW Horizontal    | 360°                    |
| HPBW Vertical      | 22°                     |
| Potencia Máxima    | 50 W                    |
| Impedancia Nominal | 50 $\Omega$             |
| Patrón             | Omnidireccional         |

## ANEXO B. CODIGO ARDUINO

### Módulo sensor MQ135 y Wisol SFM11R2D.

```
#include<SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial mySerial (10,11) ; //Rx, Tx
#define anInput A0 //alimentación analógica del MQ135
#define co2Zero 55 //calibración para valor 0 de CO2
void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
  mySerial.begin(9600);
}
void loop ()
{
  comandosAT ();
  if (mySerial.available())
    Serial.write(mySerial.read());
}
void comandosAT()
{
  mySerial.println("AT"); //test de comunicación del modulo
  delay(2000);
  mostrarDatosSeriales ();
  mySerial.println("AT$RC"); //Reset del módulo de comunicación
  mostrarDatosSeriales ();
  delay (2000);
  CO2();
  delay (180000);
}
void mostrarDatosSeriales ()
{
  while (mySerial.available() !=0)
    Serial.write(mySerial.read());
}
```

```

void CO2()
{
  String bufer="AT$SF=";
  String bufer2="\n";
  int co2now [10];
  int co2raw = 0;           //valores en crudo de CO2
  int co2comp = 0;         //compensación de CO2
  float co2ppm = 0;        //valores ppm calculados
  int zzz = 0;             //valores promedios de CO2
  for (int x = 0; x<10; x++) { //muestras de 10 valores
    co2now[x]=analogRead(A0);
    delay (200);
  }
  for (int x = 0; x<10; x++){
    zzz=zzz + co2now[x];
  }
  co2raw = zzz/10;         //promedio de 10 muestras
  co2comp = co2raw - co2Zero; //obtener valor compensado de CO2
  //valores de la curva característica del sensor
  co2ppm = map(co2comp,0,1023,400,5000);
  Serial.println("CO2=");
  Serial.print(co2ppm);
  Serial.println("ppm");
  byte* a = (byte*)&co2ppm; //convierte el dato a byte
  String str;
  for (int i=0; i<4; i++)
  {
    str= String(a[i], HEX); //convierte el valor hex a string
    if (str.length () <2) //verificar si el byte esta completo
    {
      bufer+=0+str; //si no, se agrega un cero
    }
    else

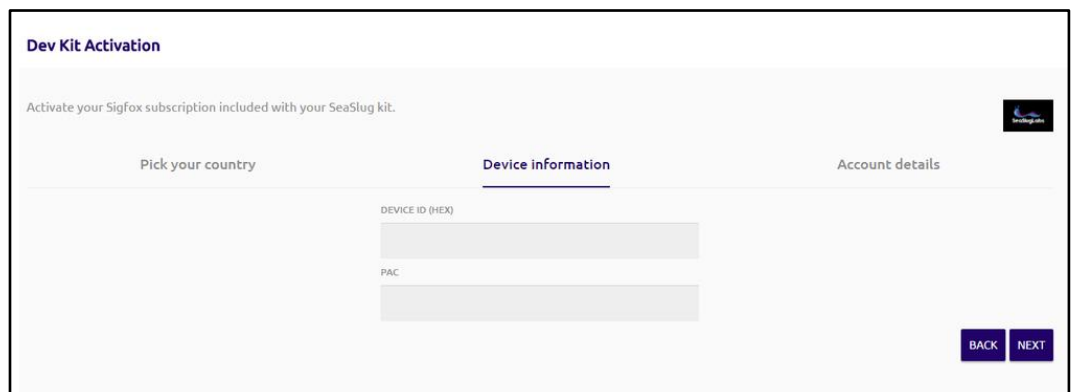
```

```
{
  bufer+=str;           //si está completo se copia tal cual
}
}
bufer+=bufer2;
mySerial.print(bufer);
Serial.print(bufer);
Serial.println(co2raw);
}
```

## **ANEXO C. Configuración del backend de Sigfox para enviar datos a Ubidots.**

### **Registro del módulo de comunicación.**

El registro es realizado mediante el ID y PAC del módulo de comunicación.



**Dev Kit Activation**

Activate your Sigfox subscription included with your SeaSlug kit.

Pick your country      **Device information**      Account details

DEVICE ID (HEX)

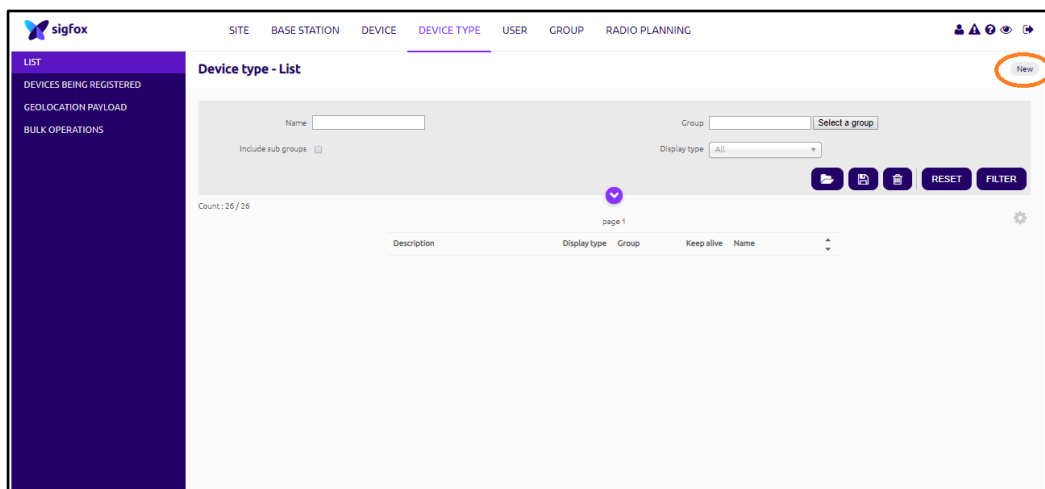
PAC

BACK    NEXT

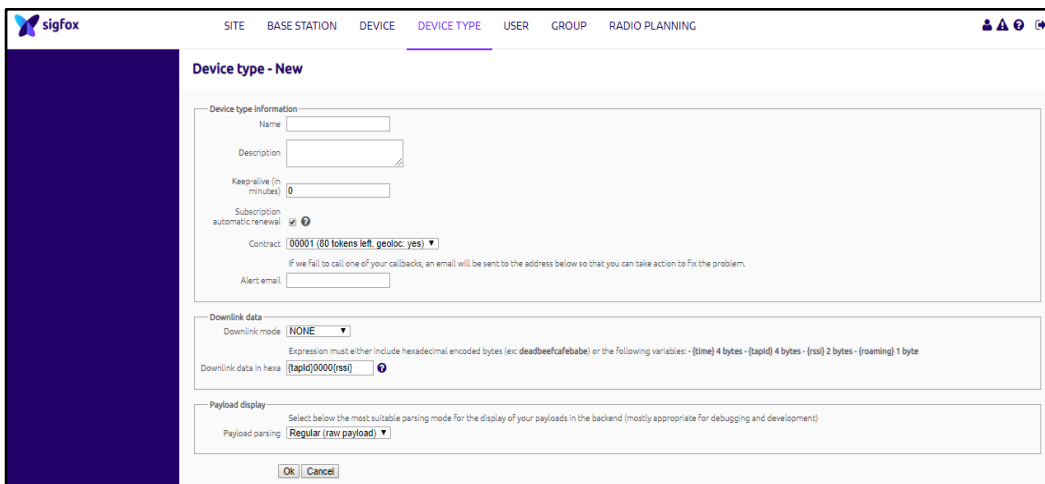
Finalizado dicho registro, se crea una herramienta que nos permitirá enviar los datos a una plataforma, para esto seguiremos los siguientes pasos:



1. Nos ubicamos en la pestaña Device Type y damos clic en el botón New.



2. Completamos la información:



3. Damos clic en Ok.

Puesto en marcha el sistema de monitoreo, es posible observar los mensajes enviados por el dispositivo registrado, de forma hexadecimal, como se observa en la figura.

| Timestamp           | RSSI | Device ID | Location Data   | Signal | Location Icon |
|---------------------|------|-----------|---|--------|---------------|
| 2019-01-08 21:35:20 | 7.4  | e9010061  | 6F0A -129.00 6.00 920.8279  | 2/3    | 📍             |
| 2019-01-08 21:33:13 | 11.2 | 16020061  | 6F0A -130.00 9.23 920.8285  | 1/3    | 📍             |
| 2019-01-04 20:53:54 | 1.3  | 580400a2  | 7C66 -124.00 12.39 920.8553<br>8E83 -118.00 11.78 920.8213<br>9039 -109.00 18.22 920.8555 | 2/3    | 📍             |
| 2019-01-04 20:53:30 | 2.7  | 580400a2  | 903D -103.00 19.98 920.8540<br>90E1 -121.00 6.53 920.8543<br>9039 -123.00 8.50 920.8543   | 1/3    | 📍             |
| 2019-01-04 16:44:08 | 2.3  | 74468b43  | 6DF0 -121.00 14.57 920.8198<br>90E1 -102.00 16.79 920.8438<br>8E83 -123.00 12.96 920.8672 | 2/3    | 📍             |

Los datos recibidos en la plataforma de Sigfox, no son comprensibles, por ese motivo se hace uso del Servidor, Ubidots, del cual se escribe más adelante.

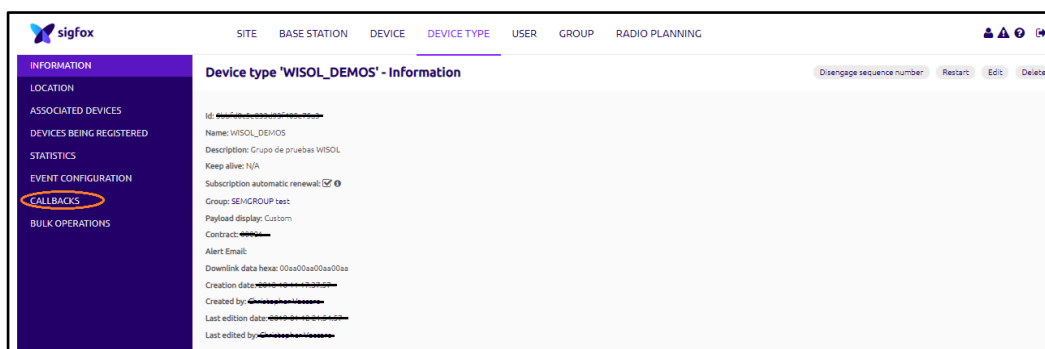
Para poder utilizar Ubidots, se debe crear un callback, en la plataforma Sigfox, este se encarga de obtener los datos de un dispositivo asociado a un Device Type.

### Creación del callback.

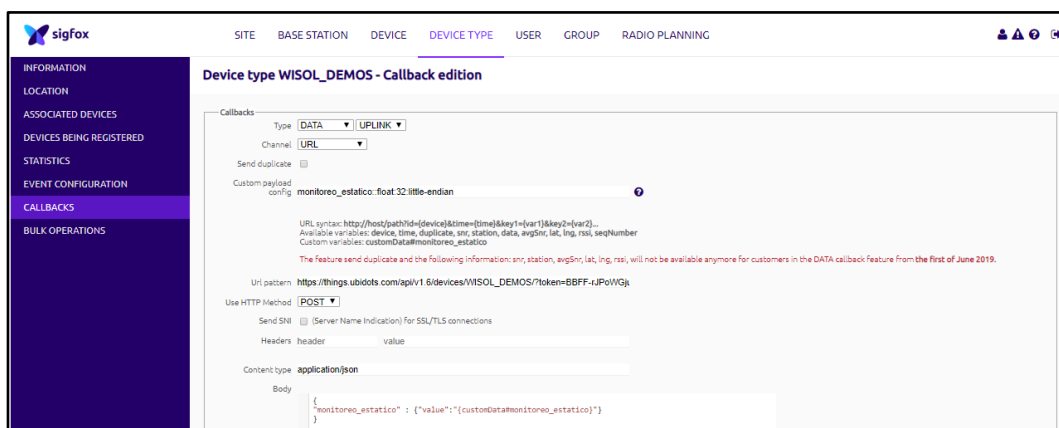
Para crear un callback damos clic en Device Type y seleccionamos el nombre de nuestro dispositivo.

| Description            | Display type | Group         | Keep alive | Name        |
|------------------------|--------------|---------------|------------|-------------|
| Grupo de pruebas WISOL | Custom       | SEMGROUP test | N/A        | WISOL_DEHOS |

Damos clic en CALLBACK.



Se abre una ventana para ingresar la siguiente información: Tipo de dato a transmitir, URL del Servidor Web y el nombre de la variable a observarse en el mismo.



La URL que se debe ingresar a esta ventana, proviene de una cuenta en el servidor web, Ubidots.

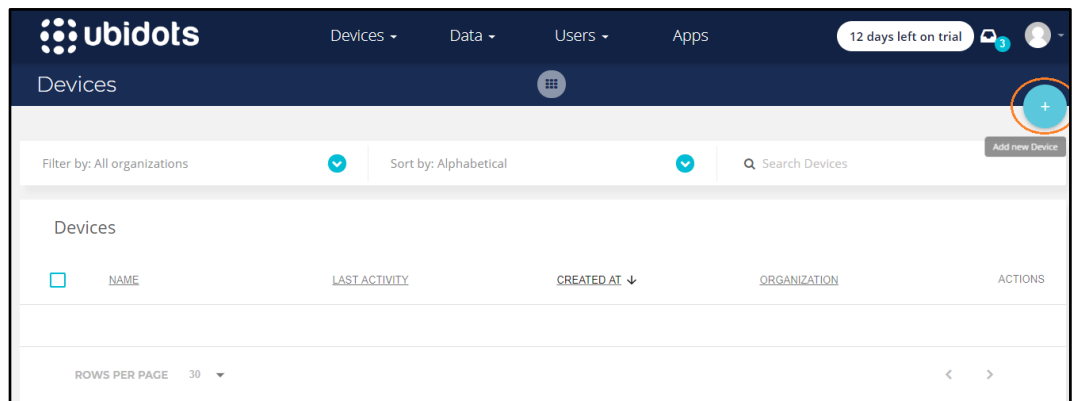
### Configuración en Ubidots.

Para esta comunicación es necesario crear una cuenta en Ubidots, ingresamos a la página siguiente.

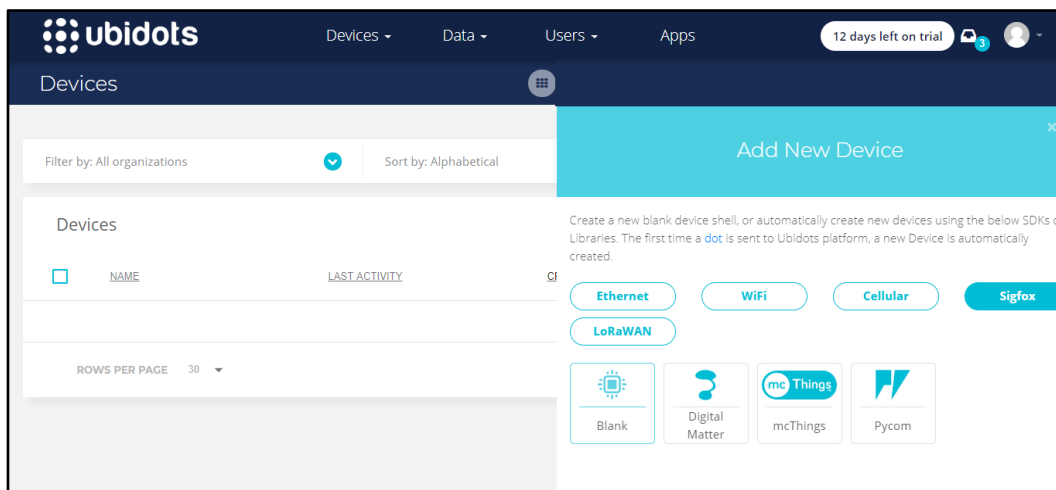


Ingresamos los campos descritos y tendremos una cuenta activa en Ubidots, lista para usar.

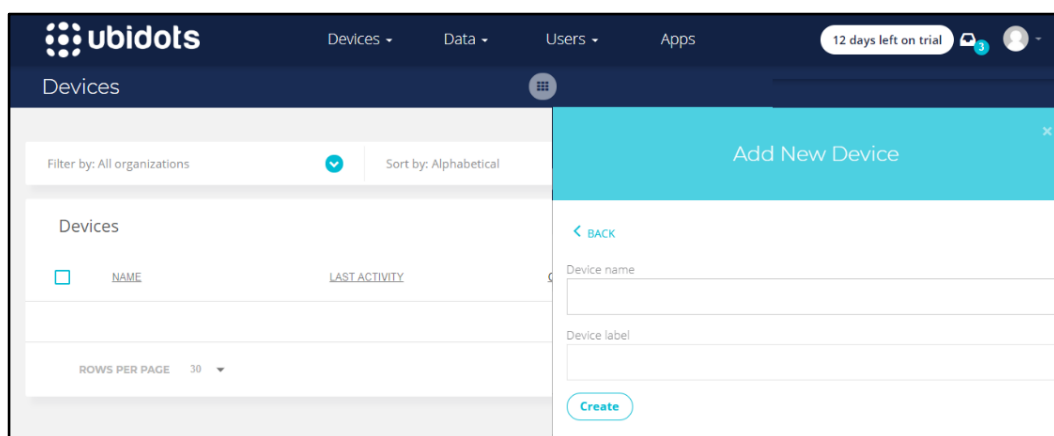
Agregamos el dispositivo dando clic en el ícono encerrado en el círculo rojo.



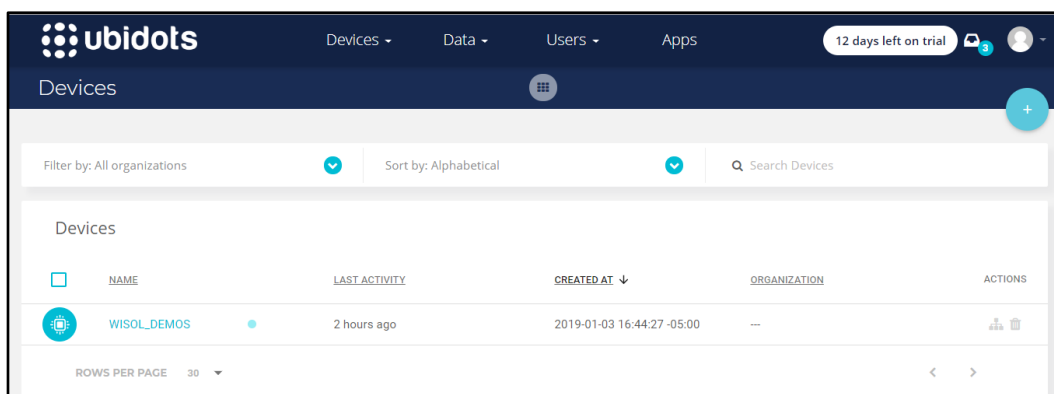
Añadimos las características del dispositivo, en este caso se escogió Sigfox -> Blank



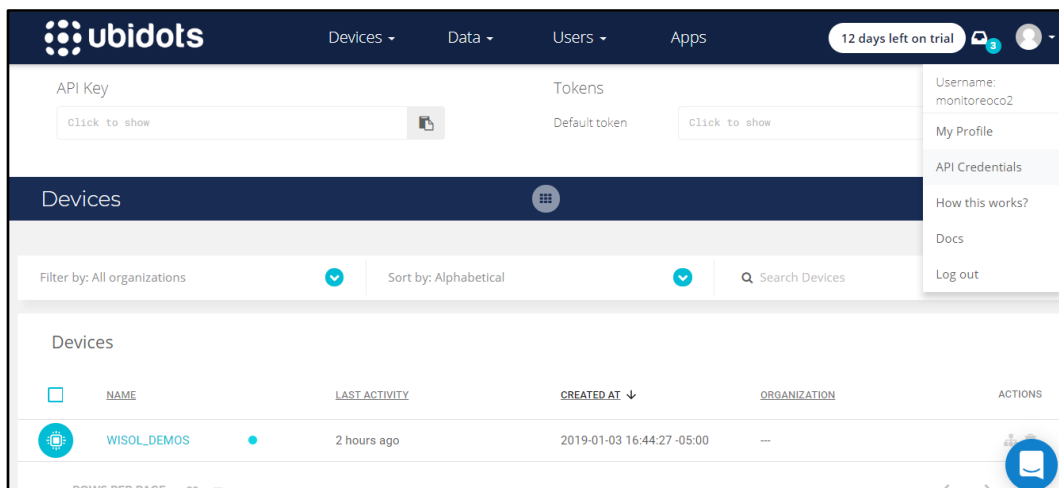
Escribimos el nombre del dispositivo.



Una vez añadido el dispositivo, aparecerá en la sección DEVICES del servidor Ubidots, tal como se muestra en la figura.



Para añadir la URL al callback se necesita del código TOKEN que provee Ubidots. Se lo obtiene dando clic en la imagen de su usuario y seleccionando API Credential.



La URL del callback debe tener el siguiente formato:

`https://things.ubidots.com/api/v1.6/devices/{nombre_devide}?token={TOKEN}`

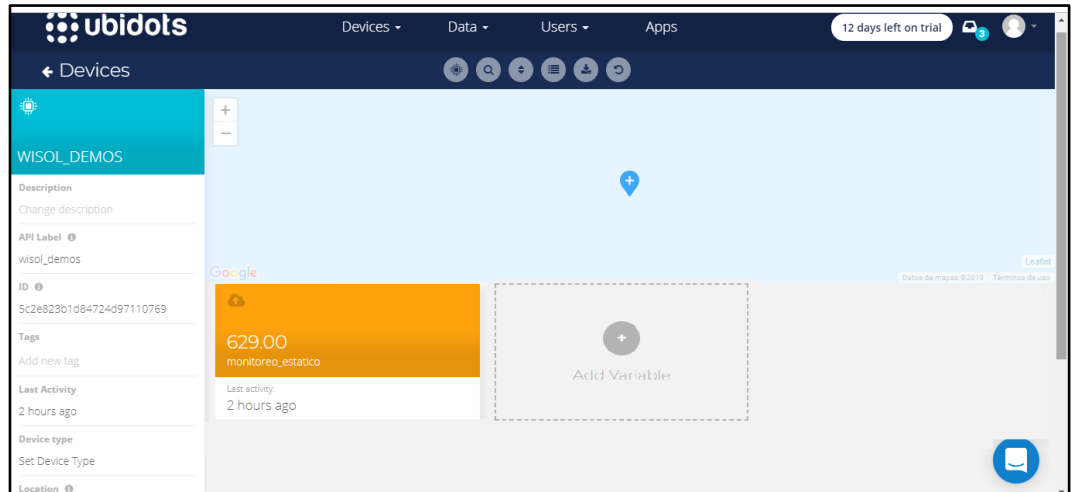
De donde:

{nombre\_devide} debe contener el nombre del dispositivo

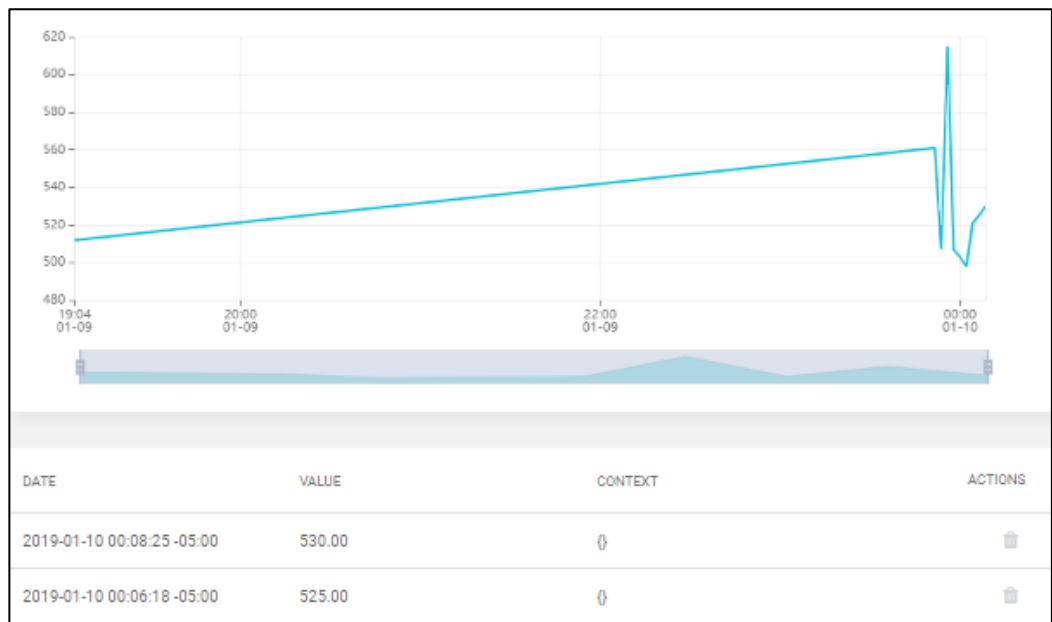
{TOKEN} contiene el código obtenido del Ubidots.

Habiendo realizado estos pasos con éxito, procedemos a encender el sistema de monitoreo inalámbrico.

Automáticamente, aparece en la página de Ubidots el nombre de la variable asignada en el callback de Sigfox, con sus datos esto se observa en la figura.



Es así como el usuario final podrá observar los datos. La frecuencia de recepción de estos datos es controlada mediante la programación del Arduino. Para una mejor apreciación se puede dar clic en el recuadro de la variable y aparecerá una ventana con muchos más detalles, como la que se observa en la figura.



En este caso los datos se presentan cada dos minutos. En la parte superior se observa de manera gráfica la información.

# BIBLIOGRAFÍA

- [1] Organización Mundial de la Salud, «10 Datos sobre el cambio climático y la salud,» s.f. [En línea]. Available: [http://www.who.int/features/factfiles/climate\\_change/facts/es/](http://www.who.int/features/factfiles/climate_change/facts/es/).
- [2] Ministerio del Ambiente, «Tercera Comunicación Nacional del Ecuador sobre Cambio Climático,» Manthra Communication, Quito, 2017.
- [3] Ministerio del Ambiente, «Ministerio del Ambiente,» 16 Mayo 2013. [En línea]. Available: <http://www.ambiente.gob.ec/mae-trabaja-en-programas-de-mitigacion-y-adaptacion-para-reducir-emisiones-de-co2-en-ecuador/>.
- [4] R. Daniel, «El parque automotor aumenta y complica más la movilidad,» 3 noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.elcomercio.com/actualidad/aumento-parque-automotor-quito-movilidad.html>. [Último acceso: 30 noviembre 2018].
- [5] L. A. G. Henry Benavides Ballesteros, «Información técnica sobre,» nota técnica del ideam, Colombia, 2007.
- [6] R. Guayaquil, «El telégrafo,» 30 05 2016. [En línea]. Available: <https://www.eltelegrafo.com.ec/noticias/guayaquil/10/36-8-toneladas-de-co2-se-generan-anualmente-en-guayaquil>. [Último acceso: 8 10 2018].
- [7] F. Lituma y P. Macías, "Diseño e implementación de un sistema de telemetría para realizar mediciones remotas de sustancias contaminantes en la ciudad de Guayaquil", [Tesis de Grado, FIEC], ESPOL: Guayaquil, 2017.
- [8] J. Ortega y G. Rafael, «Medición de los niveles de contaminación de CO y CO<sub>2</sub> a través de un sistema electrónico basado en PLC, para el monitorero de la calidad del aire en la Universidad Católica de Cuenca,» *Revista Interamericana de Ambiente y Turismo*, vol. 10, nº 2, pp. 217-224, 2014.
- [9] Ministerio del Ambiente, «Plan Nacional de Calidad del Aire,» s/e, Quito, 2010.



- [10] Congreso Nacional del Ecuador, Ley 67, Calidad del Aire y de la Contaminación Acústica, Quito: Lexis S.A, 2006.
- [11] Congreso Nacional del Ecuador, Ley de la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental, Quito: Lexis S.A, 2004.
- [12] Ecuador, Congreso de la República, Norma Ecuatorina de calidad del aire, Quito: s.e., 2003.
- [13] P. Ibérica, «PCE Instruments Chile S.A.» [En línea]. Available: <https://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/definicion-calidad-aire-y-co2.htm>. [Último acceso: 15 febrero 2018].
- [14] E. Alvarez, Artist, «Contaminación Ambiental Generada por la misión de gases,» [Art]. Universidad Militar Nueva Granada, 2011.
- [15] G. Vargas y J. Leo, «Calentamiento Global de la Tierra. Un Ejercicio Económico,» *Momento Económico*, nº 125, pp. 30-38, 2003.
- [16] «Sandbox Electronics,» 3 Febrero 2014. [En línea]. Available: <http://sandboxelectronics.com/>.
- [17] J. Ortiz, « Benchmark de selección de sensores para una WSN de recolección de datos para un sistema de alerta temprana de incendios forestales » [Tesis de Grado, Ibarra: Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas, 2017.
- [18] «Naylamp Mechatronics,» 13 Julio 2016. [En línea]. Available: [https://naylampmechatronics.com/blog/42\\_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html](https://naylampmechatronics.com/blog/42_Tutorial-sensores-de-gas-MQ2-MQ3-MQ7-y-MQ13.html).
- [19] N. Albert, «Marquesme,» 28 Noviembre 2017. [En línea]. Available: <https://marquesme.com/guia-iot-internet-of-things/>.
- [20] «Sigfox,» [En línea]. Available: <https://www.sigfox.com/en/sigfox-iot-technology-overview>.

- [21] R. Pérez, Artist, «Desarrollo de prototipo de sensor IoT usando la red Sigfox,» [Art]. Universidad de Sevilla, 2015.
- [22] M. C. Bernal, «Ruta N,» 13 Junio 2018. [En línea]. Available: <https://www.rutanmedellin.org//es/tendencias/item/ubidots-la-startup-local-que-conecta-datos-de-todo-el-mundo>.
- [23] M. Quiñonez, P. González, R. Torres y M. Jumbo, «Sistema de Monitoreo de Variables Medioambientales Usando Una Red de Sensores Inalámbrica y Plataforma de Internet de las Cosas,» *Enfoque UTE*, vol. 7, nº 1, pp. 329-343, 1 Febrero 2017.
- [24] D. Angulo, «Diseño e Implementacion de un piloto para sistema IoT de cicloparquero inteligente, basado en los sistemas inteligentes de transporte y su implicacion normativa dentro de una ciudad inteligente en Colombia,» [Tesis de Grado], Universidad Santo Tomás, Bogotá, Facultad de Ingeniería de Telecomunicaciones., 2017.
- [25] E. Crespo, «Aprendiendo Arduino,» 11 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://aprendiendoarduino.wordpress.com/>. [Último acceso: 16 Enero 2019].
- [26] L. Gracia, «Sofia IoT Platform web,» 11 Noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://about.sofia2.com/2016/11/11/arquitectura-de-referencia-de-una-plataforma-iot/>. [Último acceso: 16 Enero 2019].
- [27] Y. Gusqui, «Diseño de un prototipo de red WSN para el monitoreo del nivel de contaminación de CO2 existen en el centro de la ciudad de Riobamba,» [Trabajo de Titulación], Universidad Superior Politecnica de Chimborazo, Facultad de Informática y Electrónica., 2017.
- [28] Larsen, Pulse, «Technical Data Sheet RO8605NFC,» San Diego.
- [29] «Sigfox support,» [En línea]. Available: <https://support.sigfox.com/docs/link-quality:-general-knowledge>.