

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE RED DE SENSORES PARA
MONITOREO, ALMACENAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA
CALIDAD DEL AIRE EN EL INTERIOR DE UN HOGAR.”

EXAMEN DE GRADO (COMPLEXIVO)

Previa a la obtención del Título de:

MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES

Presentado por:

ÁNGEL ANDRES DAQUILEMA SERRANO

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2020

AGRADECIMIENTO

Mis más sinceros agradecimientos a Dios, por permitirme cumplir un objetivo más en mi proyecto de vida.

A mis padres, por haberme dado la oportunidad de estudiar una carrera universitaria, enseñarme que con esfuerzo, trabajo y constancia todo se consigue.

A mi hermano, por haberme ayudado desde el colegio hasta ahora en la Universidad en mis proyectos académicos.

A mis abuelos, por haberme brindado con sus consejos un gran respaldo anímico para terminar mis estudios universitarios.

A mis compañeros de clase: Salvador, Kevin, Eduardo, Aristóteles, Víctor, Fernanda, Maricela y Verónica, con los que he vivido y compartido grandes momentos.

A mis profesores, por transmitirme sus diversos conocimientos y anécdotas de la vida laboral.

A mis tíos Luis, Isidro, María y Mario que con sus conocimientos profesionales me ayudaron en los diversos campos académicos en mi vida universitaria.

A mi enamorada María Gabriela por la constante motivación para cumplir este proyecto.

A todas aquellas personas que siguen cerca de mí y que le regalan a mi vida un poco de ellos.

Ángel Daquilema Serrano

DEDICATORIA

Quiero dedicar este proyecto a mis padres Ángel y Marcelina, porque ellos con sus consejos, su paciencia, su apoyo incondicional me motivaron y me dieron esa fuerza anímica para lograr cumplir este objetivo en mi proyecto de vida.

A mi hermano Miguel, que me ayudó con su tiempo y conocimientos en mis proyectos académicos.

A mis abuelos, que son mi inspiración para cumplir cada objetivo en mi proyecto de vida.

A mi mascota Beethoven, que con su alegría y compañía estuvo presente durante toda mi vida universitaria y fue parte de mi motivación para terminar este proyecto.

Ángel Daquilema Serrano

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN

Jorge Brito C.

Jorge Andrés Brito Collantes

PROFESOR EVALUADOR

The logo consists of a horizontal line with a central orange and red graphic element, possibly representing a scale or a bridge, with the text 'TRIBUNAL DE EVALUACIÓN' on either side.

María Antonieta Álvarez Villanueva

PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, me corresponde exclusivamente; y doy mi 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"

Ángel Daquilema Serrano

RESUMEN

Hoy en día la contaminación del aire representa un riesgo para la salud humana. Millones de personas cocinan y calientan sus hogares con combustibles sólidos tales como madera, carbón vegetal, residuos agrícolas, excrementos de animales entre otros; los cuales son expuestos en fuegos abiertos y en cocinas con fugas.

Estos combustibles para cocinar producen elevados niveles de contaminación del aire en el interior debido a la liberación de elementos nocivos para la salud, las cuales pueden ocasionar enfermedades tales como neumonía, accidente cerebrovascular, cardiopatía isquémica, neumopatía obstructiva crónica, cáncer de pulmón entre otras.

En este proyecto se diseñará una red de sensores para monitorear, almacenar y analizar la calidad del aire en el interior del hogar. Para eso se utilizará el simulador Cisco Packet Tracer, dispositivos inteligentes para censar gases como CO, CO₂, metano, nitrógeno y O₂. Dichos niveles gases van a poder ser visualizados en tiempo real mediante una Tablet o smartphone conectado a la misma red WI-FI del hogar, también van a poder ser visualizados y almacenados mediante canales públicos utilizando la plataforma ThingSpeak. Los niveles de gases son analizados y si superan los valores permitidos para la salud humana, se activará una alerta en forma de correo al smartphone del usuario.

El reporte del trabajo se ha dividido en cuatro capítulos. En el primer capítulo se presenta y se describe la problemática que actualmente se vive por la calidad del aire en el interior de los hogares junto a los objetivos y justificación de trabajo del estudio. Luego en el segundo, se describe la metodología que se usará para el diseño y simulación de la solución tecnológica, así como las tecnologías y plataformas IoT.

En el tercer capítulo, se detalla el análisis de los resultados de la simulación, así como la discusión de los resultados esperados y tecnologías utilizadas.

En el último capítulo se darán a conocer las conclusiones del proyecto y recomendaciones para mejorar futuras soluciones tecnológicas.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN	iii
RESUMEN	v
CAPÍTULO 1	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Descripción del problema	1
1.2 Justificación/Propuesta.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general	3
1.3.2. Objetivos específicos.....	3
1.4 Marco Teórico.....	4
CAPÍTULO 2.....	5
2 DESARROLLO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....	5
2.1 Topología de la red de sensores	5
2.2 Tecnologías y plataformas IoT.....	5
2.3 Simulación	7
CAPÍTULO 3.....	12
3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
3.1 Resultados	12
3.2 Discusión	13

CAPÍTULO 4.....	15
4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	15
4.1 Conclusiones	15
4.2 Recomendaciones	15
BIBLIOGRAFÍA	16

CAPÍTULO 1

1 INTRODUCCIÓN.

1.1 Descripción del problema

La contaminación del aire en los hogares por el uso doméstico de combustibles ineficientes con fines de calefacción, cocina e iluminación es actualmente la principal causa aislada de la carga de morbilidad relacionada con el medio ambiente. Según estimaciones de la OMS, la contaminación del aire en los hogares causó 2,3 millones de defunciones en el 2012. [1]

Los combustibles sólidos tales como madera, residuos agrícolas, carbón vegetal y mineral, excrementos de animales entre otros, son utilizados en fuegos abiertos y en cocinas con fugas para cocinar o calentar los hogares. Estos combustibles liberan elementos nocivos para la salud, tales como pequeñas partículas de hollín que penetran profundamente en los pulmones. [2]

La siguiente figura nos muestra las enfermedades causadas por los combustibles sólidos:

Resultado de salud	Pruebas ¹	Población	Riesgo relativo ²	Riesgo relativo (intervalo de confianza de 95%) ³	
Infecciones agudas de las vías respiratorias inferiores	Fehacientes	Niños de 0 a 5 años de edad	2,3	1,9–2,7	S U F I C I E N T E
Enfermedad pulmonar obstructiva crónica	Fehacientes	Mujeres de edad ≥ 30 años	3,2	2,3–4,8	
	Moderadas I	Hombres de edad ≥ 30 años	1,8	1,0–3,2	
Cáncer de pulmón (carbón)	Fehacientes	Mujeres de edad ≥ 30 años	1,9	1,1–3,5	
	Moderadas I	Hombres de edad ≥ 30 años	1,5	1,0–2,5	
Cáncer de pulmón (biomasa)	Moderadas II	Mujeres de edad ≥ 30 años	1,5	1,0–2,1	I N S U F I C I E N T E
Asma	Moderadas II	Niños de 5 a 14 años de edad	1,6	1,0–2,5	
	Moderadas II	Adultos de edad ≥ 15 años	1,2	1,0–1,5	
Cataratas	Moderadas II	Adultos de edad ≥ 15 años	1,3	1,0–1,7	
Tuberculosis	Moderadas II	Adultos de edad ≥ 15 años	1,5	1,0–2,4	

Figura 1.1 Efectos para la salud causados por la contaminación del aire de interiores [3]

En la figura 1.1 podemos observar las posibles enfermedades que se pueden adquirir al inhalar en el interior de los hogares los gases que emiten los combustibles sólidos descritos anteriormente. Motivo por el cual la Organización Mundial de la Salud emite boletines respecto al monitoreo de la calidad del aire en interiores.

En el Ecuador de acuerdo con estudios oficiales publicados por la SENPLADES en el año 2007 se determinan profundas falencias en la gestión ambiental de la calidad del aire tales como información dispersa, escasa y poco confiable. Motivo por el cual el Ministerio del Ambiente ejecuta el proyecto Calidad del Aire, elaborando políticas y estrategias enmarcadas en el Plan Nacional de Calidad del Aire en el cual se definen cinco parámetros a monitorear tales como: material particulado fino (PM_{2.5}), óxidos de nitrógeno NO_x, monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂) y oxidantes fotoquímicos expresados como ozono (O₃). Desarrollando un inventario nacional de emisiones en veinte ciudades del país. [4]

En la actualidad las mediciones de la calidad del aire en exteriores en el Ecuador no se ejecutan constantemente y no hay registros mensuales de estos monitoreos, adicional el programa se ejecutaría en las ciudades con mayor población tales como Quito, Guayaquil, Cuenca entre otros. No existen mediciones de calidad del aire en el interior de los hogares lo cual es muy importante conocer para determinar el origen de posibles enfermedades en la población ecuatoriana.

1.2 Justificación/Propuesta

La falta de monitoreos o estudios de la calidad del aire en interiores de los hogares en el Ecuador es un campo de investigación no explotado debido a que se podrían prevenir posibles enfermedades ocasionadas por inhalaciones de gases emitidos por utilizar combustibles sólidos, adicionalmente el monitoreo de las partículas PM_{2,5} y PM₁₀ que se encuentran en la atmósfera y ocasiones enfermedades respiratorias tampoco son monitoreadas constantemente.

En el diseño de la red de sensores que permita adquirir parámetros de la calidad del aire en el interior de un hogar, se van a considerar los gases CO, CO₂, Methane, Nitrogen y O₂. Los sensores enviarán los datos mediante enlace inalámbrico a un Access Point del hogar para que se integren en la red del hogar. El diseño de la red va a ser simulada en la plataforma Cisco Packet Tracer, el cual nos permite utilizar dispositivos IoT como sensores tipo componente, para los sensores tipo componente necesitan un procesador (MCU) para que pueda procesar la señal sea analógica o digital y pueda conectarse a la red. Los dispositivos IoT pueden ser modificados en la programación en el cual vamos a agregar código para analizar y comparar niveles de gases que puedan generar daños a la salud humana generando una alarma mediante correo enviado al Smartphone o Tablet del usuario en el hogar. En la Tablet o Smartphone el usuario va a poder ingresar al web browser y visualizar los niveles de gases dentro del interior del hogar en tiempo real. Adicionalmente vamos a utilizar la plataforma ThingSpeak para almacenar y visualizar en canales públicos los valores de los gases del interior del hogar. En la MCU se cargará el código para la medición y envió a la plataforma ThingSpeak.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

- Promover el mejoramiento de la calidad del aire en el interior de los hogares a través de una red de sensores.

1.3.2. Objetivos específicos

- Diseñar una red de sensores para la adquisición de parámetros de la calidad del aire.
- Visualizar los parámetros de la calidad del aire en el interior de los hogares.
- Alertar al usuario niveles no adecuados para la salud de la calidad del aire en el interior de los hogares.

- Desarrollar un inventario de la calidad del aire en el interior de los hogares.
- Analizar los datos adquiridos para determinar la calidad del aire en el interior de los hogares.

1.4 Marco Teórico

En el diseño de este proyecto se considera un sistema que integre dispositivos IoT con plataformas IoT y dispositivos comunes como una Tablet o Smartphone, Access Point del hogar. En el estudio [5] se consideran sensores comunes como CO₂ y al integrarlo con un NodeMCU ESP8266 se convierte en un dispositivo inteligente debido a que le permite comunicarse inalámbricamente con el procesador Raspberry el cual recopila la información y la sube a la nube para luego ser visualizada con la plataforma Kibana. En el estudio [6] se utilizan los mismos sensores que se integran al NodeMCU ESP8266 con la diferencia que se utiliza el MQTT Broker y Node-Red para enviar y visualizar los valores de gases medidos adicionalmente mediante Node-Red se puede configurar alarmas al registrarse en el servicio LINE Notify el cual le permite recibir mensajes de advertencia.

CAPÍTULO 2

2 DESARROLLO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.

2.1 Topología de la red de sensores

Para el diseño de nuestra red he escogido la topología estrella el cual me permite centralización de red, en este caso el Home Gateway en el cual los dispositivos inteligentes se enlazan de forma inalámbrica, permitiéndome agregar nuevos dispositivos fácilmente, ver Figura 2.1.



Figura 2.1 Topología tipo estrella en simulador Cisco Packet Tracer

También cuenta con dispositivos MCU para la comunicación con sensores de interfaces analógicas.

2.2 Tecnologías y plataformas IoT

Entre las tecnologías utilizadas para la simulación del sistema de monitoreo fue la red WIFI que utiliza la tecnología de radio denominada IEEE 802.11g en el canal 6, ver figura 2.2, el cual nos permite realizar la comunicación inalámbrica con los dispositivos IoT o los dispositivos que puedan conectarse con esta tecnología.

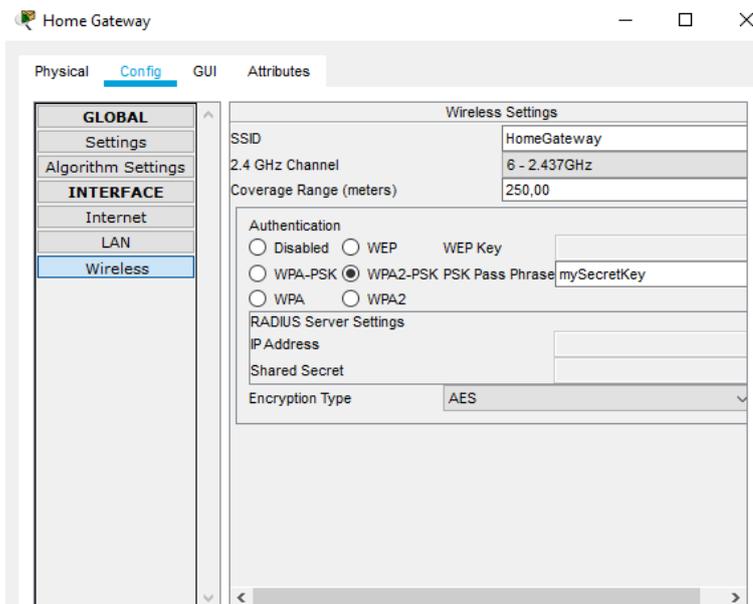


Figura 2.2 Interfaz de configuración de Home Gateway

El programa Cisco Packet Tracer nos permite simular redes, sensores analógicos, sensores digitales, dispositivos IoT, tecnologías RFID, Bluetooth, 3G entre otras. En la figura 2.3. podemos apreciar dispositivos IoT, procesadores MCU, sensores analógicos entre otros.

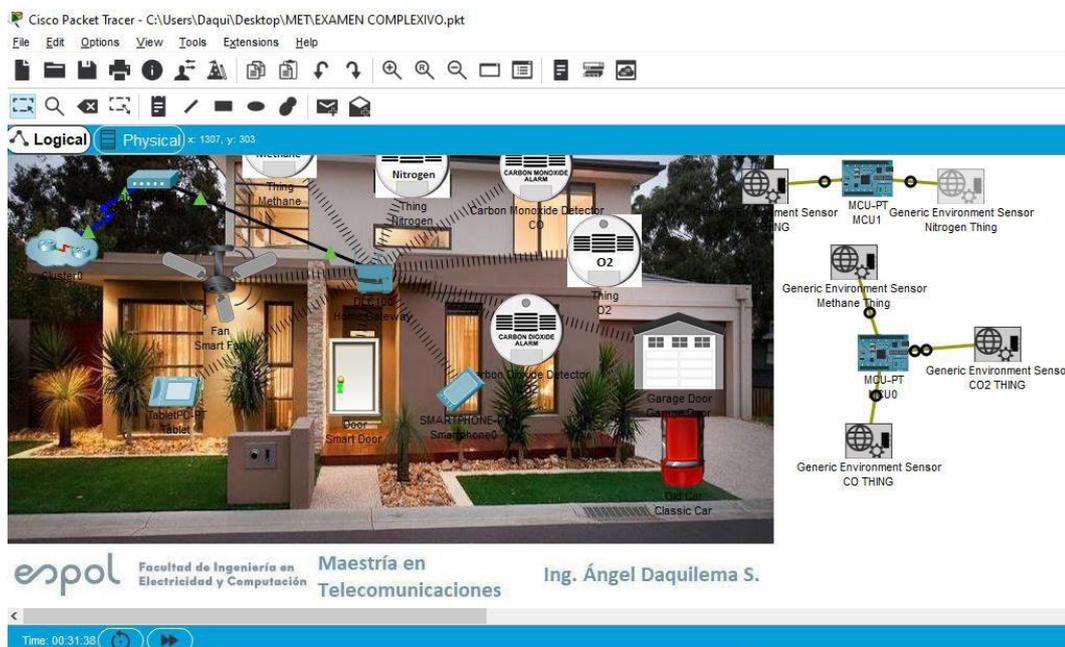


Figura 2.3 Simulador Cisco Packet Tracer

ThingSpeak es una plataforma abierta de Internet de las cosas (IoT), que nos permite recoger y almacenar datos de los sensores en la nube y visualizarlos en canales públicos, ver figura 2.4. ThingSpeak también ofrece aplicaciones para analizar y visualizar los datos en MATLAB. Los datos en los sensores son enviados desde la MCU.

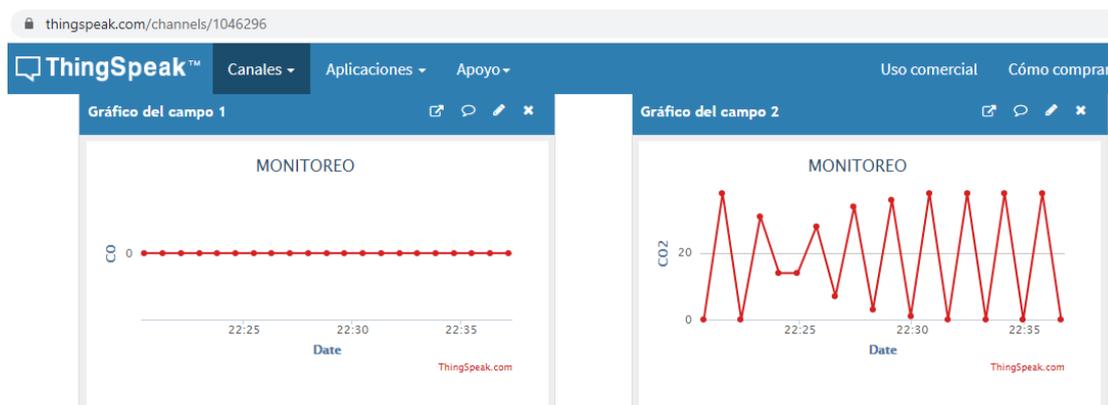


Figura 2.4. Interfaz de Canal Público en Plataforma ThingSpeak

2.3 Simulación

Para nuestra simulación utilizamos el ambiente de un hogar como fondo, con un Home Gateway como punto de acceso inalámbrico con las siguientes credenciales SSID: HomeGateway, Contraseña: mySecretKey, los cuales son ingresados en los dispositivos IoT para comunicarse con la red del hogar. Utilizamos el sensor inteligente CO para adquirir datos de los niveles CO en el interior del hogar, el cual es enlazado al HomeGateway para poder comunicarse con el servidor IoT. Ver Figura 2.5.

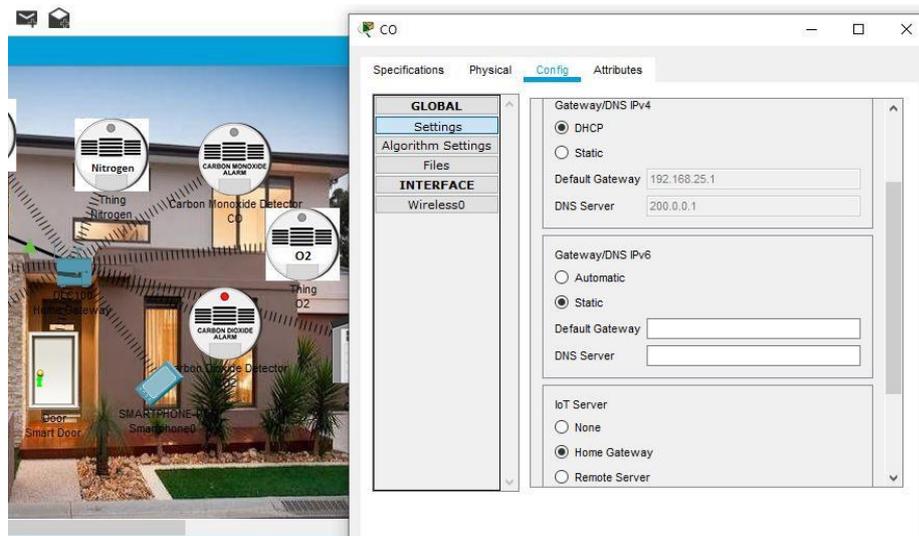


Figura 2.5 Interfaz de configuración de dispositivo inteligente CO

Así mismo enlazamos el dispositivo inteligente CO2 el cual en el simulador se encuentra creado. Para los otros 3 gases Methane, O2 y Nitrogen debemos utilizar el sensor Thing, ver Figura 2.6.

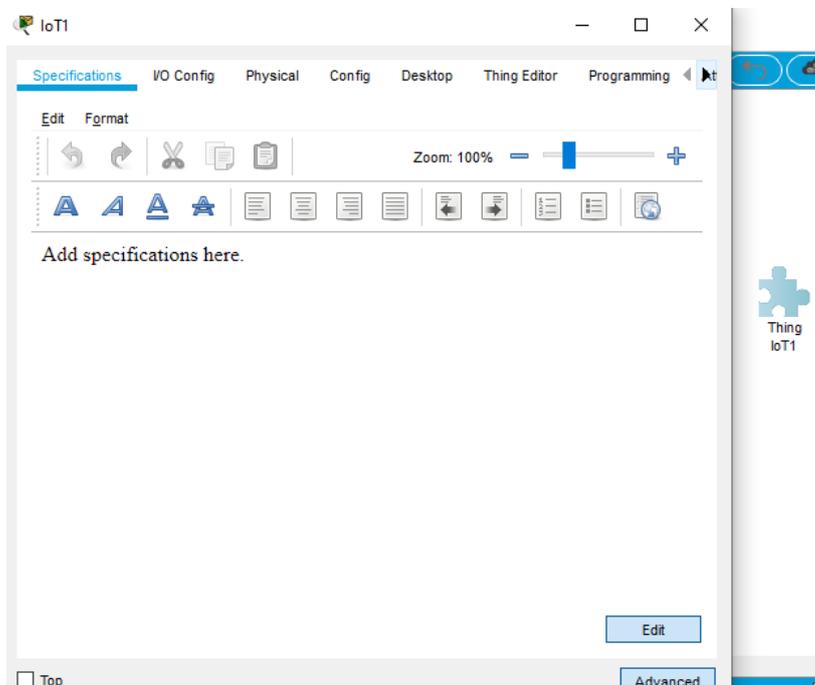
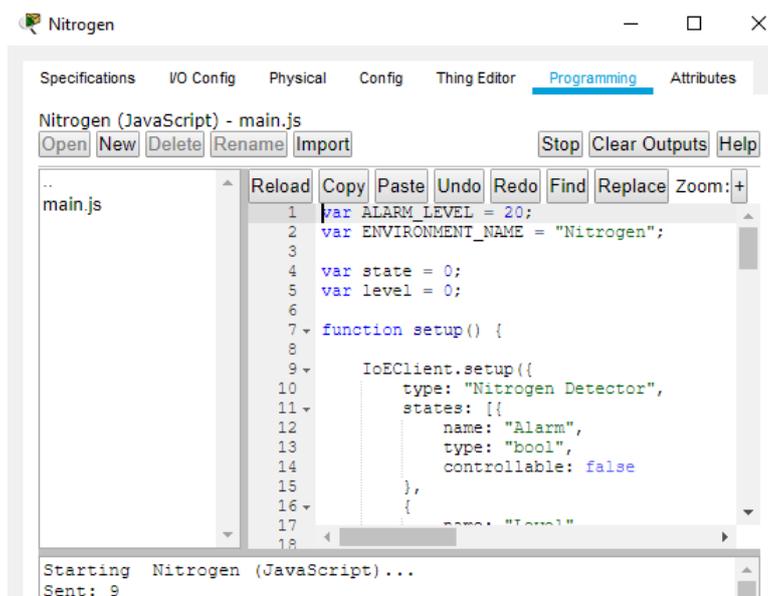


Figura 2.6 Interfaz de configuración de sensor Thing

Este sensor me permite crear nuevos sensores con el cual ingresamos a la programación y definimos las variables ambientales a censar escribiendo en la línea de código ENVIRONMENT_NAME= "Nitrogen", "O2", "Methane" según sea la variable a medir. Ver Figura 2.7.



```
Specifications  I/O Config  Physical  Config  Thing Editor  Programming  Attributes

Nitrogen (JavaScript) - main.js
Open New Delete Rename Import Stop Clear Outputs Help

main.js
Reload Copy Paste Undo Redo Find Replace Zoom: +

1 var ALARM_LEVEL = 20;
2 var ENVIRONMENT_NAME = "Nitrogen";
3
4 var state = 0;
5 var level = 0;
6
7 function setup() {
8
9   IoEClient.setup({
10     type: "Nitrogen Detector",
11     states: [{
12       name: "Alarm",
13       type: "bool",
14       controllable: false
15     }],
16     {
17       name: "Level"
18     }
19   });
20 }

Starting Nitrogen (JavaScript)...
Sent: 9
```

Figura 2.7. Programa JavaScript del sensor Nitrogen

Dentro del código creamos una alarma para que se envíe un mensaje de alerta al superar un limite de nivel del gas medido, el cual a ser enviado al correo del usuario en este caso adaquile@cisco.com. Ver figura 2.8.



```
Specifications  I/O Config  Physical  Config  Thing Editor  Programming  Attributes

Nitrogen (JavaScript) - main.js
Open New Delete Rename Import Stop Clear Outputs Help

main.js
Reload Copy Paste Undo Redo Find Replace Zoom: +

89   sendReport();
90 }
91 }
92
93 function setLevel(newLevel)
94 {
95   if (level == newLevel)
96     return;
97
98   level = newLevel;
99   if ( level > ALARM_LEVEL){
100     setState(1);
101     EmailClient.send("adaquile@cisco.com", "Alerta de Gas Nitrogen", "
102   }
103   else
104     setState(0);
105
106   sendReport();
107 }
108 }
```

Figura 2.8. Código de creación de alarma

Una vez creados los sensores inteligentes y agregados al servidor IoT mediante el acceso inalámbrico del HomeGateway, el usuario debe acceder al web browser mediante una Tablet o Smartphone conectado a la red del hogar, en el web browser ingresamos la dirección IP: 192.168.25.1, con las credenciales Username: admin y Password: admin, ver Figura 2.9.

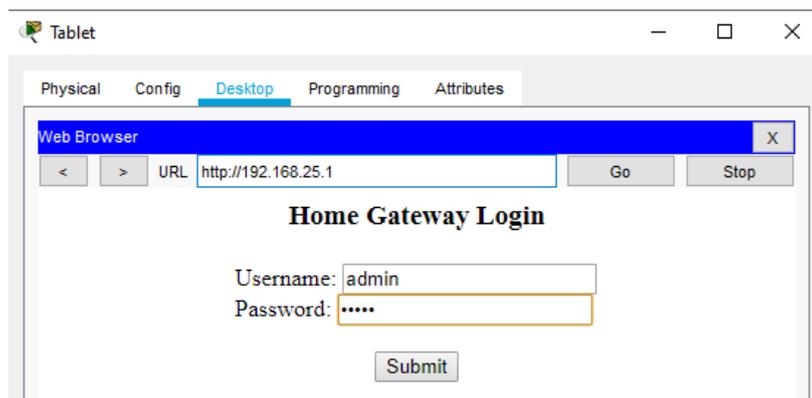


Figura 2.9 Interfaz Web Browser de Tablet

Una vez ingresados las credenciales podemos acceder a la interfaz IoT y visualizar los valores de niveles de gases medidos en tiempo real, ver figura 2.10.

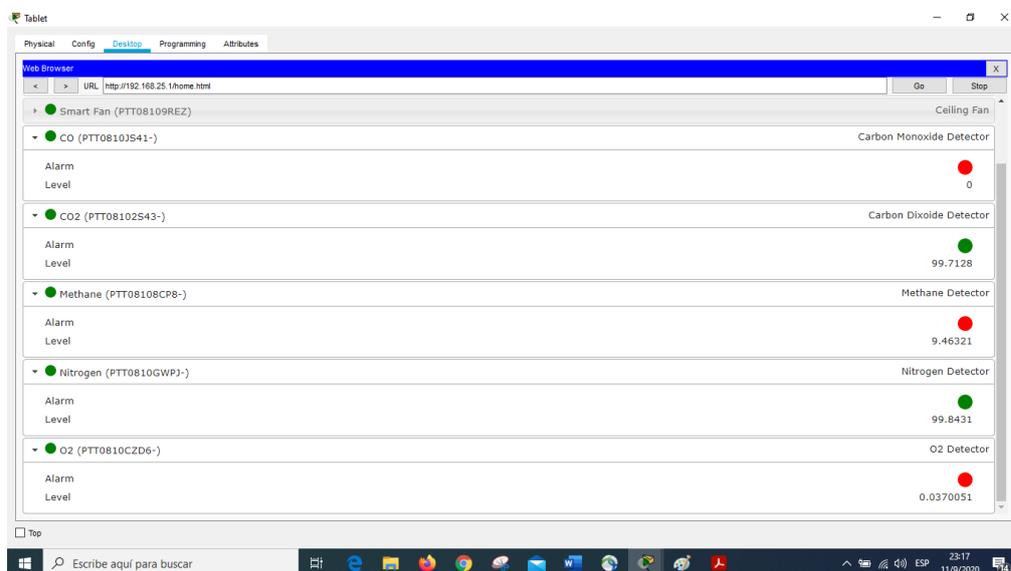
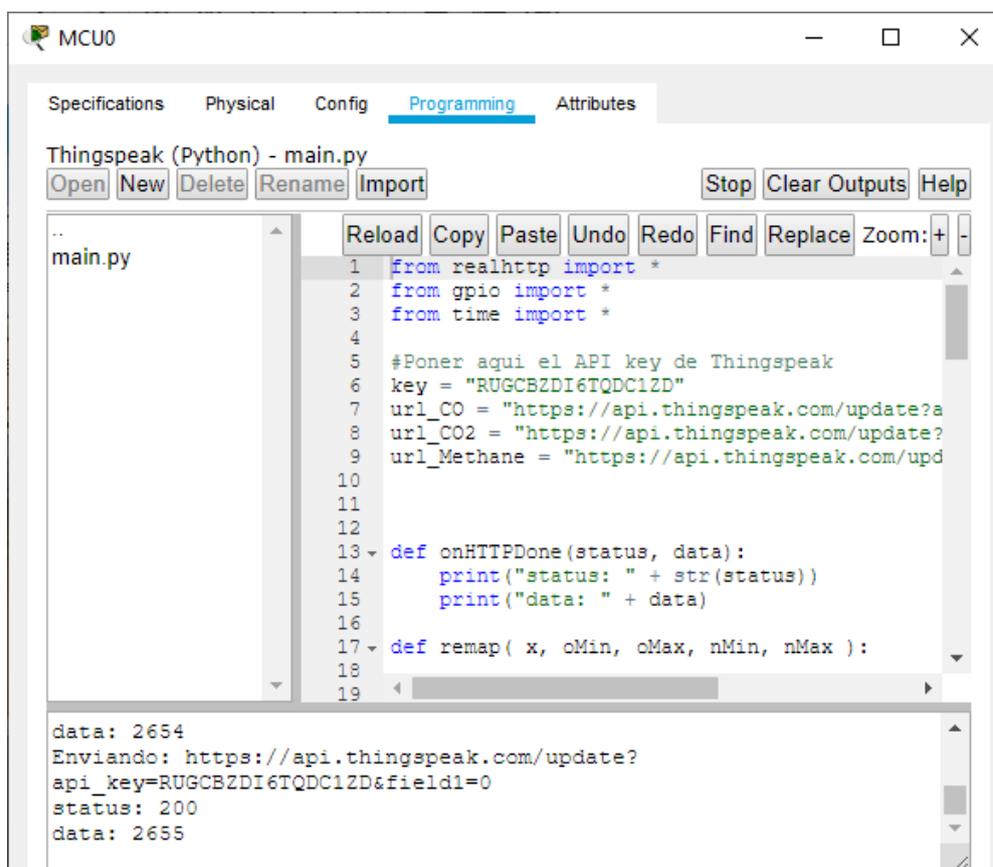


Figura 2.10 Interfaz de dispositivos IoT

Para enviar los datos adquiridos a la plataforma ThingSpeak debemos crear una cuenta en esta plataforma y obtener la clave key única, la cual debe de ser escrita en el código de la MCU para enviar los datos a canal público. Ver Figura 2.11



The screenshot shows the 'MCU0' programming interface with the 'Programming' tab selected. The main window displays a Python script named 'main.py' for sending data to ThingSpeak. The script includes imports for 'realhttp', 'gpio', and 'time'. It defines a 'key' variable with the value 'RUGCBZDI6TQDC1ZD' and three URLs for CO, CO2, and Methane data. A function 'onHTTPOne' is defined to print status and data. A 'remap' function is also present. The output window at the bottom shows the execution results: 'data: 2654', 'Enviando: https://api.thingSpeak.com/update?api_key=RUGCBZDI6TQDC1ZD&field1=0', 'status: 200', and 'data: 2655'.

```
..
main.py
1 from realhttp import *
2 from gpio import *
3 from time import *
4
5 #Poner aqui el API key de Thingspeak
6 key = "RUGCBZDI6TQDC1ZD"
7 url_CO = "https://api.thingSpeak.com/update?a
8 url_CO2 = "https://api.thingSpeak.com/update?
9 url_Methane = "https://api.thingSpeak.com/upd
10
11
12
13 def onHTTPOne(status, data):
14     print("status: " + str(status))
15     print("data: " + data)
16
17 def remap( x, oMin, oMax, nMin, nMax ):
18
19
```

data: 2654
Enviando: https://api.thingSpeak.com/update?
api_key=RUGCBZDI6TQDC1ZD&field1=0
status: 200
data: 2655

Figura 2.11. Interfaz de configuración de MCU

CAPÍTULO 3

3 ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Resultados

Los niveles de gas en el interior del hogar pueden ser visualizados en tiempo real, con un indicador de alarma mediante la interfaz web browser del servidor IoT. Ver figura 3.1.

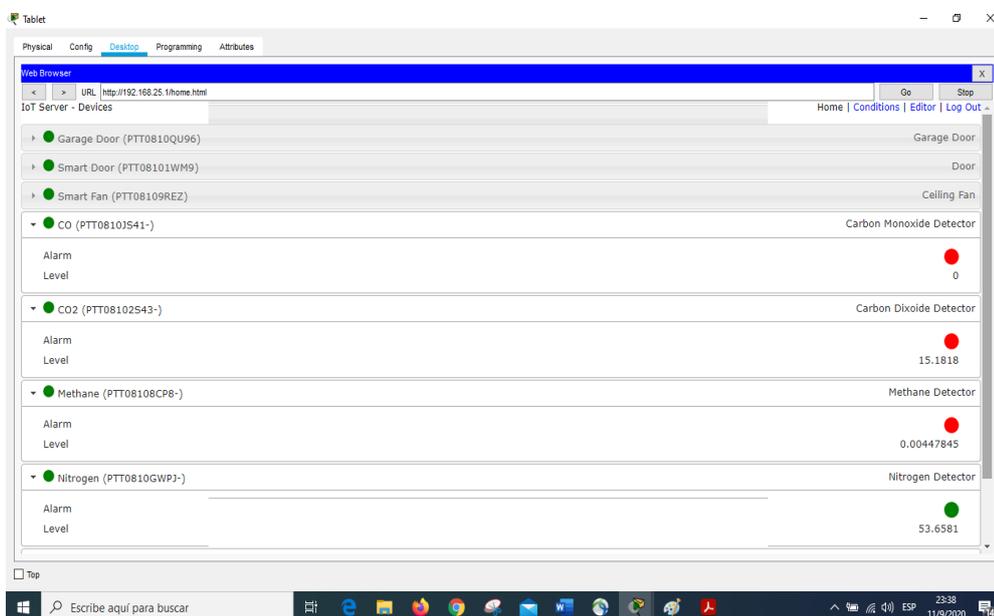


Figura 3.1 Interfaz IoT para monitoreo de calidad del aire

En la plataforma ThingSpeak el usuario va a poder ver el historial de los niveles de gases en el interior de su hogar, los cuales quedaran almacenados para generar inventarios de la calidad del aire en el interior del hogar, Ver Figura 3.2



Figura 3.2 Canal público de plataforma ThingSpeak

Al analizar los niveles de gas en tiempo real se puede generar una alerta al usuario para darle a conocer en tiempo real el nivel de gas dentro de su hogar es perjudicial para la salud mediante un correo electrónico. Ver Figura 3.3.

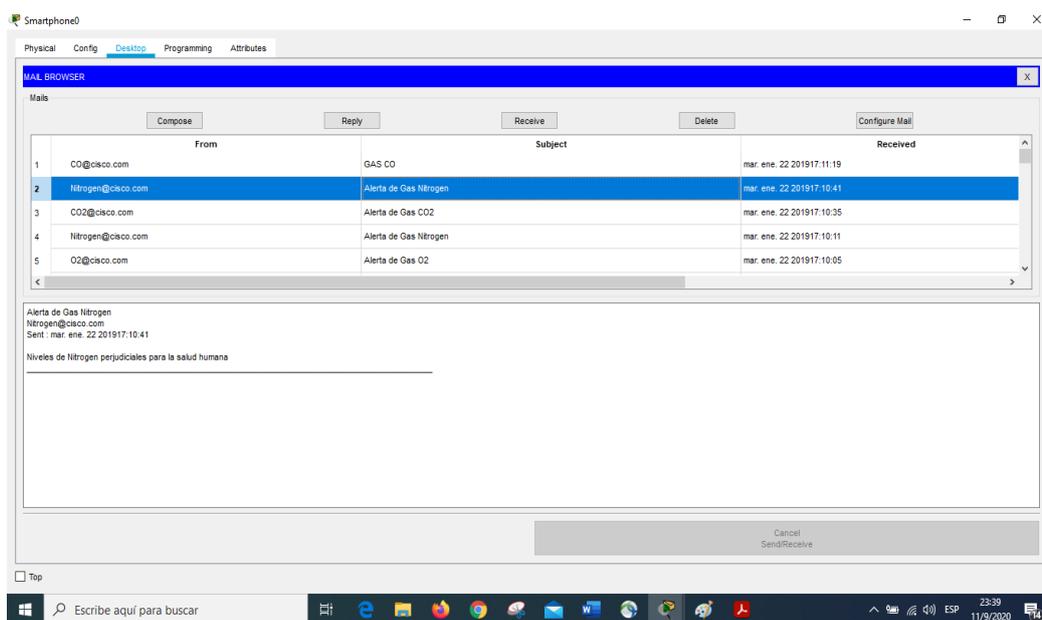


Figura 3.3. Email en SmartPhone de usuario

3.2 Discusión

Dentro de las ventajas de la tecnología IoT que nos ofrece el simulador Cisco Packet Tracer, nos permite conexiones inalámbricas, en nuestro caso

topología de red tipo estrella, en donde el HomeGateway funcionaba como eje central para que los dispositivos IoT se conecten con él para integrarse al servidor IoT.

Las desventajas del simulador Cisco Packet Tracer son de tipo de recurso del simulador, al aumentar más dispositivos y conexiones la simulación se paralizaba o en algunos casos se cerraba. Una de las desventajas de nuestra solución es la cobertura de acceso inalámbrico de nuestro HomeGateway la cual es de 820,22(feet) si un dispositivo se encuentra fuera de esa cobertura no se podrá conectar, para lo cual se deben de realizar ajustes.

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

4.1 Conclusiones

Los dispositivos IoT permiten integrarse fácilmente con el servidor IoT el cual nos permite configurar y adquirir los parámetros de gases en tiempo real.

Al acceder a la IP del servidor IoT se visualizan los parámetros de la calidad del aire en el interior del hogar en tiempo real.

Al superar un nivel de gas definido se alerta al usuario mediante un mensaje de correo email para precautelar su salud.

Al enviar los datos a la plataforma ThingSpeak se puede visualizar en los canales públicos los datos de los sensores y almacenarlos para futuros inventarios.

4.2 Recomendaciones

La plataforma ThingSpeak puede integrarse con aplicaciones de MATLAB para correlacionar los datos, los datos almacenados en un futuro pueden ser utilizados para un análisis de big data y generar proyecciones de las emisiones de los gases dentro del hogar.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] OMS, «DIRECTRICES DE LA OMS SOBRE LA CALIDAD DEL AIRE DE INTERIORES,» OMS, p. 24, 2014.
- [2] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» 2007. [En línea]. Available: https://www.who.int/airpollution/publications/fuelforlife_es.pdf.
- [3] OMS, «Organización Mundial de la Salud,» [En línea]. Available: https://www.who.int/airpollution/publications/fuelforlife_es.pdf?ua=1.
- [4] MAE, «Ministerio del Ambiente y Agua,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.ambiente.gob.ec/programa-calidad-del-aire-fase-iii/>.
- [5] V. Ladekar y R. Daruwala, «IEEE XPLORE,» 30 Diciembre 2019. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8944892>.
- [6] S. Chanthakit y C. Rattanapoka, «IEEE XPLORE,» 08 Noviembre 2018. [En línea]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8523891>.