

**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN**



**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**METEO: ESTACIÓN DE MONITORIZACIÓN  
METEOROLÓGICA REMOTA**

**MÁSTER EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS  
PARA ENTORNOS INTELIGENTES**

MÁLAGA, 2022

*MANNY LEN VILLA SUAREZ*



**UNIVERSIDAD DE MÁLAGA**

**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN**

***METEO: Estación de monitorización meteorológica remota***

**REALIZADO POR:**

*Manny Len Villa Suarez*

**DIRIGIDO POR:**

*Alfonso Ariza Quintana*

**DEPARTAMENTO DE TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA**

**TITULACIÓN:** Máster en Sistemas Electrónicos para Entornos Inteligentes

**PALABRAS CLAVE:** estación meteorológica y de calidad del aire, contaminantes, red de sensores, Wi-Fi, LoraWan, servidor web, Raspberry Pi, WIFI LoRa 32 (V2), Node-Red, WordPress, Elementor.

**RESUMEN:** En este trabajo se ha desarrollado una estación de monitorización meteorológica y de calidad del aire de la cual se puede acceder de forma remota. Este sistema puede medir diferentes gases y partículas que se consideran perjudiciales para la salud y el medio ambiente, además serán almacenadas en la nube y visualizadas en una página web permitiendo identificar el estado de la calidad del aire.

Málaga, junio de 2022



UNIVERSIDAD DE MÁLAGA  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE  
INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIÓN

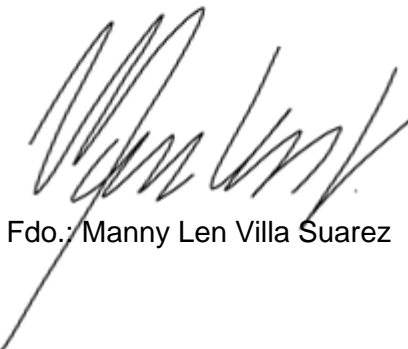
**Declaración de Originalidad**

Yo, Manny Len Villa Suarez, estudiante del Máster en Sistemas electrónicos para entornos inteligentes, de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Telecomunicación de la Universidad de Málaga, declaro que en el Trabajo Fin de Máster titulado:

**METEO: ESTACIÓN DE MONITORIZACIÓN METEOROLÓGICA  
REMOTA**

no se ha utilizado contenido de fuentes, sin citarlas adecuadamente, en la realización de la presente memoria y, en consecuencia, la ausencia de plagio.

En Málaga a 24 de junio de 2022.



Fdo.: Manny Len Villa Suarez





# ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	11
1.1	OBJETIVOS	12
1.2	DEFINICIONES, ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS	12
2	DIRECTIVAS DEL PROYECTO	13
2.1	OPORTUNIDAD DE NEGOCIO	13
2.2	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	13
2.3	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	13
3	DESCRIPCIÓN DE PARTICIPANTES Y USUARIOS	14
3.1	RESUMEN DE LOS PARTICIPANTES	14
3.2	RESUMEN Y ENTORNO DE LOS USUARIOS	14
3.3	ENTORNO DE LOS USUARIOS	14
3.4	PERFILES DE LOS PARTICIPANTES	15
3.4.1	Jefe de la empresa y encargado del área de medio ambiente.	15
3.4.2	Jefe de Proyecto	15
3.4.3	Desarrollador	15
3.5	PERFILES DE USUARIO	16
3.5.1	Jefe de la empresa y encargado del área de medio ambiente	16
3.6	ALTERNATIVAS Y COMPETENCIA	16
3.6.1	<a href="http://www.induanalisis.com/">http://www.induanalisis.com/</a>	16
4	REQUISITOS	17
4.1	DIAGRAMA GENERAL	17
4.2	PRECEDENCIA Y PRIORIDAD	18
4.3	REQUISITOS FUNCIONALES	18
4.3.1	R1 Medición	18
4.3.2	R1.1 Temperatura	18
4.3.3	R1.2 Humedad	19
4.3.4	R1.3 DióxidoDeNitrógeno(NO2)	19
4.3.5	R1.4 OzonoTroposférico(O3)	19
4.3.6	R1.5 MonóxidoDeCarbonoCO	19
4.3.7	R1.6 PartículasEnSuspensiónPM10	19
4.3.8	R1.7 PartículasEnSuspensiónPM2,5	19
4.3.9	2.0 Mostrar	19
4.3.10	R2.1 MostrarTemperatura	19
4.3.11	R2.2 MostrarHumedad	19
4.3.12	R2.3 MostrarDióxidoDNitrógeno(NO2)	19



4.3.13	R2.4 MostrarOzonoTroposférico(O3)	19
4.3.14	R2.5 MostrarMonóxidoDeCarbonoCO	20
4.3.15	R2.6 MostrarPartículasEnSuspensiónPM10	20
4.3.16	R2.7 MostrarPartículasEnSuspensiónPM2,5	20
4.3.17	R4 GuardarHistorico	20
4.3.18	R6 Comunicación	20
4.4	REQUISITOS NO FUNCIONALES	20
4.4.1	R3 FechaEntrega	20
4.4.2	R5.1 ActualizaciónDatos	20
4.4.3	R5.2 AlmacenajeDatos	20
5	VERIFICACIÓN DE REQUISITOS	21
5.1	ENTORNO	21
5.1.1	Lectura de temperatura	21
5.1.2	Lectura de humedad	21
5.1.3	Lectura del dióxido de nitrógeno (NO2)	22
5.1.4	Lectura el Ozono troposférico (O3)	22
5.1.5	Lectura del monóxido de carbono	23
5.1.6	Lectura de las partículas en suspensión (PM10)	24
5.1.7	Lectura de las partículas en suspensión (PM2,5)	24
5.1.8	Prueba: Almacenaje	25
5.1.9	Prueba: Histórico	25
6	CASOS DE USO	27
6.1	ACTORES DEL SISTEMA	27
6.2	DIAGRAMA GENERAL	27
6.3	DESCRIPCIÓN TEXTUAL DE LOS CASOS DE USO	27
6.3.1	C1 Medir los valores ambientales	28
6.3.2	C2 Mostrar los valores ambientales	29
6.3.3	C3 Guardar Histórico	30
6.3.4	C4 Descargar histórico.	31
7	PLAN DE ACEPTACIÓN	32
7.1	PRUEBAS	32
8	ARQUITECTURA	34
8.1	ARQUITECTURA LÓGICA	34
8.1.1	Vista general	34
8.1.2	Sistema de monitorización meteorológica remota	34
8.1.3	Estación remota	34
8.1.4	Nube/Historial	35
8.1.5	Interfaz	35
8.2	ARQUITECTURA FÍSICA	35
8.2.1	Vista general	35





8.2.2	Estación de monitorización meteorológica remota	35
8.2.3	Nodo final	36
8.2.4	Nodo central o Gateway	36
8.2.5	Red de comunicaciones	36
8.2.6	Sensores	36
8.2.7	Temperatura	36
8.2.8	Humedad	36
8.2.9	Ozono troposférico (O3)	36
8.2.10	Dióxido de Nitrógeno NO2	36
8.2.11	Monóxido de carbono	36
8.2.12	Partículas en suspensión PM10	36
8.2.13	Partículas en suspensión PM2,5	37
9	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN	38
9.1	HARDWARE DEL SISTEMA	38
9.1.1	Nodo Final	38
9.1.2	Gateway	45
9.1.3	Costos de los materiales	46
9.2	SOFTWARE DEL SISTEMA	47
9.2.1	Software del nodo final	47
9.2.2	Software del concentrador	54
9.2.3	Software de la puerta de enlace	55
9.2.4	Almacenamiento de datos en la nube	62
9.2.5	Página web pública METEO	64
10	RESULTADOS	67
10.1	PRUEBAS	67
10.1.1	Pruebas en ambiente controlado	67
10.1.2	Prueba en ambiente real	70
10.1.3	Comunicación Lora	71
10.2	ALMACENAMIENTO DE DATOS	72
10.2.1	Análisis de datos	73
10.2.2	Alertas	75
11	CONCLUSIONES	76
11.1	CONCLUSIONES GENERALES	76
11.2	MEJORAS Y LÍNEAS FUTURAS	76
12	REFERENCIAS	78
13	GLOSARIO DE FIGURAS Y TABLAS	82
13.1	FIGURAS	82
13.2	TABLAS	83



## 1 Introducción

Los altos niveles de contaminación pueden causar diferentes problemas de salud como infecciones respiratorias, enfermedades cardiacas, derrames cerebrales y cáncer de pulmón, estos afectan principalmente a la población vulnerable como, niños, adultos mayores y mujeres. Según la OMS siete millones de personas mueren a cada año por la contaminación y esta cifra se duplicará en el año 2050 si no se adoptan medidas contundentes [2].

Debido a estas circunstancias se ha diseñado e implementado METEO, una estación meteorológica y de calidad del aire de bajo coste que permite medir los niveles de concentración de los diferentes gases y partículas que afectan negativamente la salud como Ozono - O<sub>3</sub>, Monóxido de carbono – CO, Dióxido de nitrógeno - NO<sub>2</sub> PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> y variables meteorológicas como temperatura y humedad. METEO dispone de una MOTA que contiene los diferentes sensores y tiene la capacidad de comunicarse a través de Lora con la central (Gateway) que está compuesta por un concentrador y una puerta de enlace, la cual recibe los datos y los envía a la nube para almacenarla y visualizar el comportamiento de las diferentes variables en una plataforma web. Se puede acceder al sistema desde cualquier dispositivo que cuente con un navegador web y conexión a internet.

En la figura 1 se muestran los componentes y la estructura de METEO:

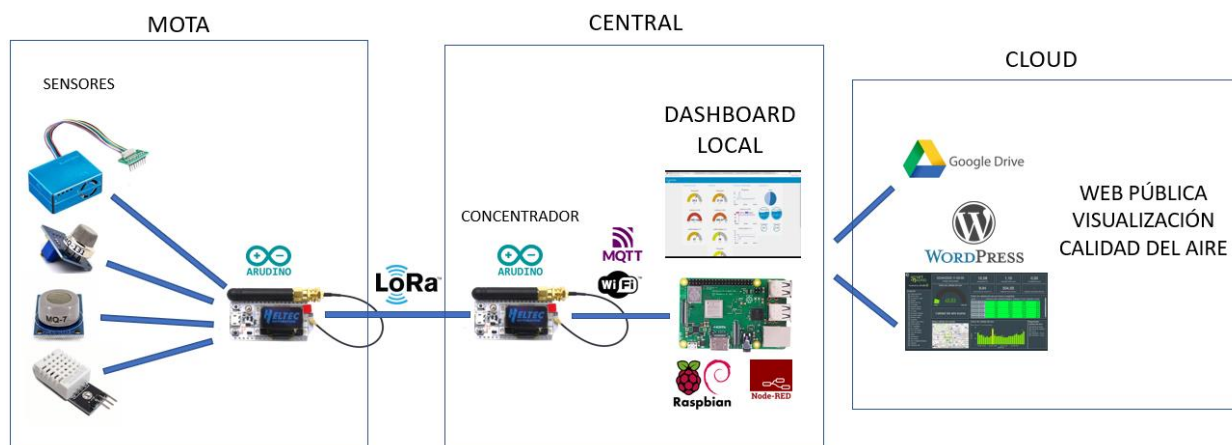


Figura 1. Esquema METEO [2]



## 1.1 Objetivos

Realizar un sistema de monitorización meteorológica remota de bajo coste, que pueda ser usado en zonas económicamente deprimidas que normalmente son las que tienen mayores problemas de contaminación y que permita conocer las concentraciones de contaminantes (partículas en suspensión de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM10 y PM2.5, Ozono - O3, dióxido de nitrógeno - NO2 y monóxido de carbono - CO), además las variables meteorológicas (temperatura y humedad).

Almacenar la información obtenida por los sensores en la nube con el fin de que el usuario pueda descargar un fichero con los datos y posteriormente realizar un análisis de las mediciones realizadas.

Visualizar de forma continua la información de cada una de las variables mencionadas por medio de una interfaz web, las cuales permiten evaluar los niveles de contaminación que afectan la salud en la población expuesta.

## 1.2 Definiciones, acrónimos y abreviaturas

METEO - Estación de monitorización meteorológica remota. Es el nombre del sistema desarrollado en este trabajo de fin de máster.



## 2 Directivas del Proyecto

### 2.1 Oportunidad de negocio

El sistema permitirá a los entes reguladores evaluar la calidad del aire de forma continua por medio de una página web accesible desde cualquier dispositivo que cuente con conexión a internet, permitiendo actuar de forma pertinente, con el fin de minimizar el riesgo sobre la salud humana que son causados por los contaminantes presentes en el ambiente de una determinada zona.

### 2.2 Descripción del problema

<b>El problema de</b>	Mostrar y almacenar las variables meteorológicas y contaminantes del ambiente de un área determinada. Conocer la calidad del aire.
<b>Afecta a</b>	Usuarios del sistema
<b>Lo cual tiene como impacto</b>	No tener información sobre el estado de contaminación ambiental de una zona urbana determinada.
<b>Una solución satisfactoria sería</b>	Implementar un sistema de monitorización remota que permita leer de los sensores las variables meteorológicas y contaminantes del ambiente y con esta información mostrar los niveles de contaminación de un área específica por medio de una interfaz web.

Tabla 1. Descripción del problema

### 2.3 Descripción del producto

<b>Para</b>	jefe de la empresa.
<b>El cual</b>	Necesita un sistema para conocer las variables meteorológicas y contaminantes del ambiente y con esta información mostrar los niveles de contaminación de un área específica por medio de una interfaz web.
<b>Estación de monitorización meteorológica remota (METEO).</b>	Es un sistema software y hardware.
<b>Que</b>	Ofrece el estado de contaminación ambiental y meteorológico de una zona urbana determinada.
<b>Frente a</b>	<a href="#">Sistema de monitoreo ambiental de Induanalisis</a>
<b>Nuestro producto</b>	Tiene un costo inferior, además tiene una interfaz diseñada a medida y se ajusta específicamente a las necesidades del cliente.

Tabla 2. Descripción del producto



### 3 Descripción de participantes y usuarios

#### 3.1 Resumen de los participantes

Nombre	Representa	Rol
jefe de la empresa y encargado del área de medio ambiente.	Representa a la empresa que solicita el proyecto.	Es el encargado de establecer los requisitos del proyecto. Encargado de dar el aval del presupuesto. Encargado de validar, probar y aprobar el resultado del proyecto.
Jefe de Proyecto	Representante de la empresa que desarrolla el proyecto.	Encargado de especificar y planificar los requisitos del proyecto, gestionar recursos y darle seguimiento al desarrollo del proyecto.
Desarrollador	Desarrollador de la empresa.	Encargado de diseñar, planificar, desarrollar el software y hardware realizar la estructura (el chasis y el montaje de los dispositivos que componen el producto).

Tabla 3. Resumen de los participantes

#### 3.2 Resumen y entorno de los usuarios

Nombre	Descripción	Participante
Jefe de la empresa y encargado del área de medio ambiente.	Encargado de vigilar el funcionamiento de la estación meteorológica, necesita conocer la información de cada una de las magnitudes medidas y toma acciones con respecto a los datos presentados.	Representados por: jefe de empresa y encargado del área de medio ambiente.

Tabla 4. Resumen y entorno de los usuarios

#### 3.3 Entorno de los usuarios

El usuario es experto en la materia, la utilización del sistema hace referencia a la lectura de los datos que proporciona una estación meteorológica remota, ubicada en la zona urbana de una



ciudad. Una sola persona estará en capacidad de realizar todas las actividades que implican el manejo del sistema. La estación remota está conectada a una Gateway por medio de LoRa. Se utilizará una interfaz web que proporciona la visualización de los datos en cualquier dispositivo “como ordenadores, móviles, tabletas, etc.”

### 3.4 Perfiles de los participantes

#### 3.4.1 Jefe de la empresa y encargado del área de medio ambiente.

<b>Representante</b>	Antonio Banderas
<b>Tipo</b>	Usuario principal y de negocio.
<b>Responsabilidades</b>	Validar los requisitos implementados, protocolos de comunicación, interfaz de usuario con la información solicitada.
<b>Criterio de Éxito</b>	La visualización de la información obtenida por los sensores que componen la estación meteorológica.
<b>Entregables</b>	No
<b>Comentarios</b>	Encargado de realizar las pruebas a la aplicación y dar la aprobación de la finalización del proyecto.

Tabla 5. Perfil jefe de la empresa

#### 3.4.2 Jefe de Proyecto

<b>Representante</b>	Alfonso Ariza Quintana
<b>Tipo</b>	Jefe de proyecto
<b>Responsabilidades</b>	Encargado de especificar y planificar los requisitos del proyecto, gestionar recursos y darle seguimiento al desarrollo del proyecto.
<b>Criterio de Éxito</b>	Se finaliza el proyecto cumpliendo con todos los requerimientos del cliente a plena satisfacción y verificación.
<b>Entregables</b>	Documento de planificación, documento de requisitos, documento de Asignación de tareas y presupuesto.
<b>Comentarios</b>	No

Tabla 6. Perfil jefe de Proyecto

#### 3.4.3 Desarrollador

<b>Representante</b>	Manny Len Villa Suárez
<b>Tipo</b>	Desarrollador experto
<b>Responsabilidades</b>	Encargado del diseño e implementación del sistema.



<b>Criterio de Éxito</b>	Se finaliza el proyecto cumpliendo con todos los requerimientos a plena satisfacción y verificación dentro de los plazos establecidos.
<b>Entregables</b>	Diseño y prototipo del sistema.
<b>Comentarios</b>	No

*Tabla 7. Perfil desarrollador*

## 3.5 Perfiles de usuario

### 3.5.1 Jefe de la empresa y encargado del área de medio ambiente

Descrito anteriormente.

## 3.6 Alternativas y competencia

### 3.6.1 <http://www.induanalysis.com/>

Induanalysis proporciona un sistema de monitorización de calidad del aire y estación meteorológica. Este sistema y supera el precio de METEO y además cuenta con otras características que no van en línea con las necesidades del cliente. Es una alternativa, pero no es considerado como competencia [3].



## 4 Requisitos

### 4.1 Diagrama general

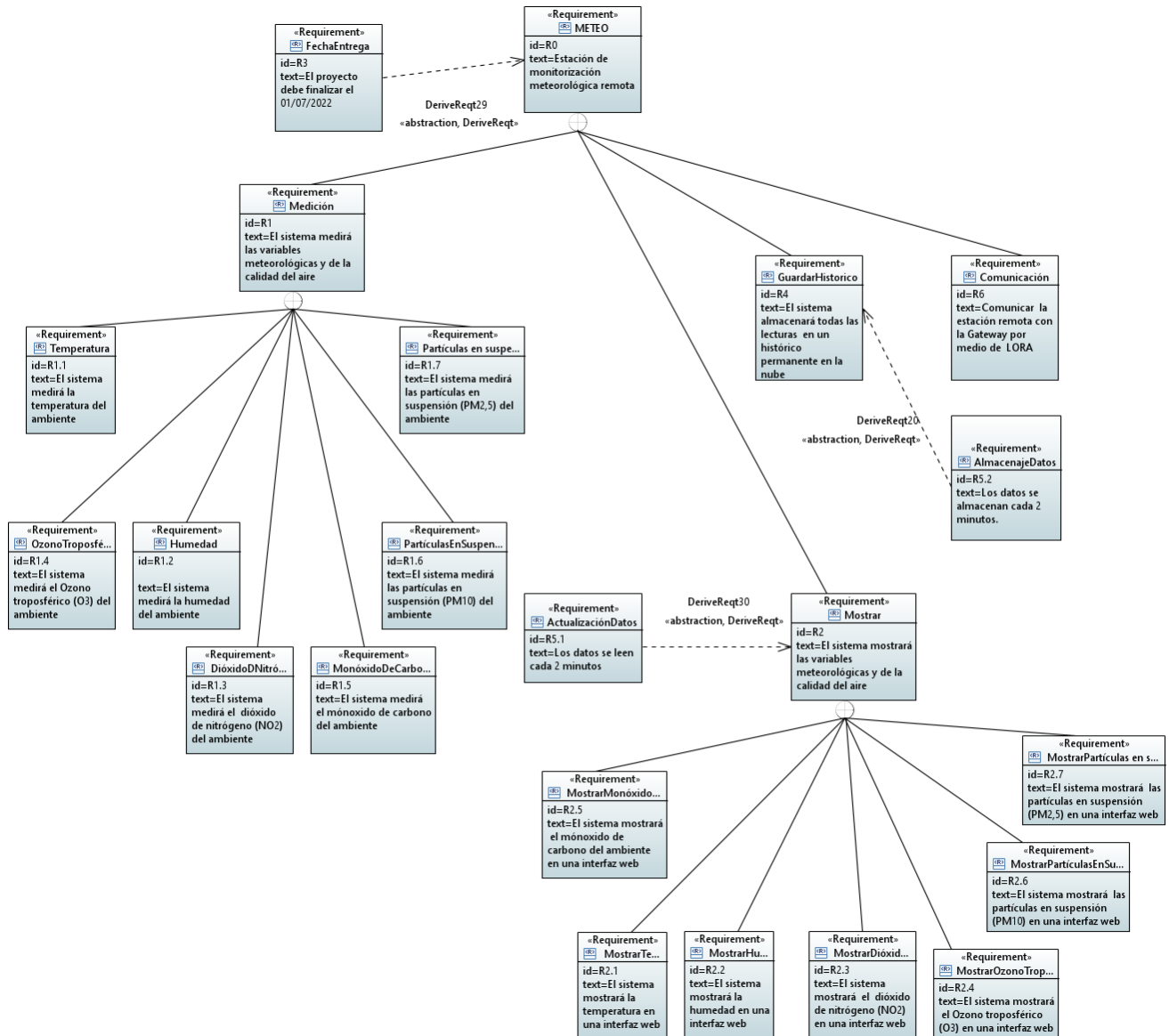


Figura 2. Diagrama general de requisitos

## 4.2 Precedencia y prioridad

Id	Nombre	Prioridad	Precedencia
R.1	Medición	F	
R1.1	Temperatura	F	
R1.2	Humedad	F	
R1.3	DióxidoDeNitrógeno(NO2)	F	
R1.4	OzonoTroposférico(O3)	F	
R1.5	MonóxidoDeCarbonoCO	F	
R1.6	PartículasEnSuspensiónPM10	F	
R1.7	PartículasEnSuspensiónPM2,5	F	
R.2	Mostrar	F	
R2.1	MostrarTemperatura	F	R1.1
R2.2	MostrarHumedad	F	R1.2
R2.3	MostrarDióxidoDNitrógeno(NO2)	F	R1.3
R2.4	MostrarOzonoTroposférico(O3)	F	R1.4
R2.5	MostrarMonóxidoDeCarbonoCO	F	R1.5
R2.6	MostrarPartículasEnSuspensiónPM10	F	R1.6
R2.7	MostrarPartículas en suspensiónPM2,5	F	R1.7
R3	FechaEntrega	F	
R4	GuardarHistorico	F	R1.*
R5.1	ActualizaciónDatos	F	R1.* R2.*
R5.2	AlmacenajeDatos	F	R1.* R2.*, R4
R6	Comunicación Lora	D	

Tabla 8. Precedencia y prioridad

## 4.3 Requisitos Funcionales

### 4.3.1 R1 Medición

El sistema medirá: temperatura, humedad, partículas en suspensión de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM10 y PM2.5, Ozono - O3, dióxido de nitrógeno - NO2 y monóxido de carbono – CO.

### 4.3.2 R1.1 Temperatura

El sistema medirá la temperatura del ambiente.



#### **4.3.3 R1.2 Humedad**

El sistema medirá la humedad del ambiente.

#### **4.3.4 R1.3 DióxidoDeNitrógeno(NO2)**

El sistema medirá el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) del ambiente.

#### **4.3.5 R1.4 OzonoTroposférico(O3)**

El sistema medirá el Ozono troposférico (O<sub>3</sub>) del ambiente.

#### **4.3.6 R1.5 MonóxidoDeCarbonoCO**

El sistema medirá el monóxido de carbono del ambiente.

#### **4.3.7 R1.6 PartículasEnSuspensiónPM10**

El sistema medirá las partículas en suspensión (PM<sub>10</sub>) del ambiente.

#### **4.3.8 R1.7 PartículasEnSuspensiónPM2,5**

El sistema medirá las partículas en suspensión (PM<sub>2,5</sub>) del ambiente.

#### **4.3.9 2.0 Mostrar**

El sistema mostrará: temperatura, humedad, partículas en suspensión de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>, Ozono - O<sub>3</sub>, dióxido de azufre - SO<sub>2</sub> y dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> y el monóxido de carbono – CO.

#### **4.3.10 R2.1 MostrarTemperatura**

El sistema mostrará la temperatura en una interfaz web.

#### **4.3.11 R2.2 MostrarHumedad**

El sistema mostrará la humedad en una interfaz web.

#### **4.3.12 R2.3 MostrarDióxidoDNitrógeno(NO2)**

El sistema mostrará el dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) en una interfaz web.

#### **4.3.13 R2.4 MostrarOzonoTroposférico(O3)**

El sistema mostrará el Ozono troposférico (O<sub>3</sub>) en una interfaz web.



#### **4.3.14 R2.5 MostrarMonóxidoDeCarbonoCO**

El sistema mostrará el monóxido de carbono del ambiente en una interfaz web.

#### **4.3.15 R2.6 MostrarPartículasEnSuspensiónPM10**

El sistema mostrará las partículas en suspensión (PM10) en una interfaz web.

#### **4.3.16 R2.7 MostrarPartículasEnSuspensiónPM2,5**

El sistema mostrará las partículas en suspensión (PM2,5) en una interfaz web.

#### **4.3.17 R4 GuardarHistorico**

El sistema almacenará todas las lecturas en un histórico permanente en la nube.

#### **4.3.18 R6 Comunicación**

Posibilidad de comunicar la estación remota "MOTA" con la Gateway por medio de LoRa.

### **4.4 Requisitos No Funcionales**

#### **4.4.1 R3 FechaEntrega**

El proyecto debe finalizar el 01/07/2022.

#### **4.4.2 R5.1 ActualizaciónDatos**

Los datos se actualizan en tiempo real.

#### **4.4.3 R5.2 AlmacenajeDatos**

Los datos se almacenan cada 2 minutos.



## 5 Verificación de requisitos

### 5.1 Entorno

Se cuenta con el nodo final (MOTA) que integra todos los sensores correspondientes, la Gateway, la plataforma web y el sistema de comunicación LoRa implementado. De esta forma se pueden realizar las lecturas y mostrarlas desde cualquier dispositivo que cuente con un navegador y conexión a internet por medio de la interfaz web.

#### 5.1.1 Lectura de temperatura

<b>Requisito/s</b>	R1.1, R2.1, R4, R5.1, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará la lectura del sensor de temperatura en un ambiente controlado. Los valores son adquiridos desde el nodo final, el cual se comunica por medio de LoRa con la Gateway y esta a su vez con el servidor. Posteriormente se visualizará en la interfaz web. Se pueden observar los datos directamente desde el nodo final, el concentrador y la interfaz web.
<b>Salida</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>En un ordenador portátil conectado a internet se mostrará por medio de la interfaz web los valores de la temperatura.</li> <li>Los datos se almacenan cada 2 minutos.</li> </ol>
<b>Errores</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>Los valores leídos/almacenados difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>Los valores leídos por el concentrador difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>Los valores leídos por el concentrador son correctos de los mostrados en el nodo final directamente y difieren de los mostrados en la interfaz web.</li> <li>Los valores se almacenan más rápido o más lento de lo especificado en R5.2 (2 minutos)</li> </ol>

Tabla 9. Lectura de temperatura

#### 5.1.2 Lectura de humedad

<b>Requisito/s</b>	R1.2, R2.2, R4, R5.1, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará la lectura del sensor de humedad en un ambiente controlado. Los valores son adquiridos desde el nodo final, el cual se comunica por medio de LoRa con el concentrador y esta a su vez con el servidor.



	Posteriormente se visualizará en la interfaz web. Se pueden observar los datos directamente desde el nodo final, el concentrador y la interfaz web.
<b>Salida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>c. En un computador portátil conectado a internet mostrará por medio de la interfaz web los valores de la humedad.</li> <li>a. Los datos se almacenan cada 2 minutos.</li> </ul>
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Los valores leídos/almacenados difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>b. Los valores leídos por el concentrador difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>c. Los valores leídos por el concentrador son correctos de los mostrados en el nodo final directamente y difieren de los mostrados en la interfaz web.</li> <li>d. Los valores se almacenan más rápido o más lento de lo especificado en R5.2 (2 minutos)</li> </ul>

*Tabla 10. Lectura de humedad*

### 5.1.3 Lectura del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

<b>Requisito/s</b>	R1.3, R2.3, R4, R5.1, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará la lectura del sensor de dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) en un ambiente controlado. Los valores son adquiridos desde el nodo final, el cual se comunica por medio de LoRa con el concentrador y esta a su vez con el servidor. Posteriormente se visualizará en la interfaz web. Se pueden observar los datos directamente desde el nodo final, el concentrador y la interfaz web.
<b>Salida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. En un computador portátil conectado a internet mostrará por medio de la interfaz web los valores del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>).</li> <li>b. Los datos se almacenan cada 2 minutos.</li> </ul>
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Los valores leídos/almacenados difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>b. Los valores leídos por el concentrador difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>c. Los valores leídos por el concentrador son correctos de los mostrados en el nodo final directamente y difieren de los mostrados en la interfaz web.</li> <li>d. Los valores se almacenan más rápido o más lento de lo especificado en R5.2 (2 minutos)</li> </ul>

*Tabla 11. Lectura del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>)*

### 5.1.4 Lectura el Ozono troposférico (O<sub>3</sub>)



<b>Requisito/s</b>	R1.4, R2.4, R4, R5.1, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará la lectura del sensor de Ozono (O3) en un ambiente controlado. Los valores son adquiridos desde el nodo final, el cual se comunica por medio de LoRa con el concentrador y esta a su vez con el servidor. Posteriormente se visualizará en la interfaz web. Se pueden observar los datos directamente desde el nodo final, el concentrador y la interfaz web.
<b>Salida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>d. En un computador portátil conectado a internet mostrará por medio de la interfaz web los valores del Ozono(O3).</li> <li>a. Los datos se almacenan cada 2 minutos.</li> </ul>
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Los valores leídos/almacenados difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>b. Los valores leídos por el concentrador difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>c. Los valores leídos por el concentrador son correctos de los mostrados en el nodo final directamente y difieren de los mostrados en la interfaz web.</li> <li>d. Los valores se almacenan más rápido o más lento de lo especificado en R5.2 (2 minutos)</li> </ul>

*Tabla 12. Lectura el Ozono troposférico (O3)*

### 5.1.5 Lectura del monóxido de carbono

<b>Requisito/s</b>	R1.5, R2.5, R4, R5.1, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará la lectura del sensor de monóxido de carbono en un ambiente controlado. Los valores son adquiridos desde el nodo final, el cual se comunica por medio de LoRa con el concentrador y esta a su vez con el servidor. Posteriormente se visualizará en la interfaz web. Se pueden observar los datos directamente desde el nodo final, el concentrador y la interfaz web.
<b>Salida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. En un computador portátil conectado a internet mostrará por medio de la interfaz web los valores del monóxido de carbono.</li> <li>b. Los datos se almacenan cada 2 minutos.</li> </ul>
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Los valores leídos/almacenados difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>b. Los valores leídos por el concentrador difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>c. Los valores leídos por el concentrador son correctos de los mostrados en el nodo final directamente y difieren de los mostrados en la interfaz web.</li> </ul>



	d. Los valores se almacenan más rápido o más lento de lo especificado en R5.2 (2 minutos)
--	---

Tabla 13. Lectura del monóxido de carbono

### 5.1.6 Lectura de las partículas en suspensión (PM10)

<b>Requisito/s</b>	R1.6, R2.6, R4, R5.1, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará la lectura del sensor de las partículas en suspensión (PM10) en un ambiente controlado. Los valores son adquiridos desde el nodo final, el cual se comunica por medio de LoRa con el concentrador y esta a su vez con el servidor. Posteriormente se visualizará en la interfaz web. Se pueden observar los datos directamente desde el nodo final, el concentrador y la interfaz web.
<b>Salida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. En un computador portátil conectado a internet mostrará por medio de la interfaz web los valores de las partículas en suspensión (PM10).</li> <li>b. Los datos se almacenan cada 2 minutos.</li> </ul>
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Los valores leídos/almacenados difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>b. Los valores leídos por el concentrador difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>c. Los valores leídos por el concentrador son correctos de los mostrados en el nodo final directamente y difieren de los mostrados en la interfaz web.</li> <li>d. Los valores se almacenan más rápido o más lento de lo especificado en R5.2 (2 minutos)</li> </ul>

Tabla 14. Lectura de las partículas en suspensión (PM10)

### 5.1.7 Lectura de las partículas en suspensión (PM2,5)

<b>Requisito/s</b>	R1.7, R2.7, R4, R5.1, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará la lectura del sensor de las partículas en suspensión (PM2,5) en un ambiente controlado. Los valores son adquiridos desde el nodo final, el cual se comunica por medio de LoRa con el concentrador y esta a su vez con el servidor. Posteriormente se visualizará en la interfaz web. Se pueden observar los datos directamente desde el nodo final, el concentrador y la interfaz web.
<b>Salida</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. En un computador portátil conectado a internet mostrará por medio de la interfaz web los valores de las partículas en suspensión (PM2,5).</li> </ul>





	b. Los datos se almacenan cada 2 minutos.
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Los valores leídos/almacenados difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>b. Los valores leídos por el concentrador difieren de los mostrados en el nodo directamente.</li> <li>c. Los valores leídos por el concentrador son correctos de los mostrados en el nodo final directamente y difieren de los mostrados en la interfaz web.</li> <li>d. Los valores se almacenan más rápido o más lento de lo especificado en R5.2 (2 minutos)</li> </ul>

Tabla 15. Lectura de las partículas en suspensión (PM2,5)

### 5.1.8 Prueba: Almacenaje

<b>Requisito/s</b>	R4, R5.2
<b>Prueba</b>	Se realizará el almacenamiento cada 2 minutos de las magnitudes medidas: temperatura, humedad, presión, partículas en suspensión de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM10 y PM2.5, Ozono - O3, dióxido de nitrógeno - NO2 y monóxido de carbono – CO.
<b>Salida</b>	a. Los datos se almacenan cada 2 minutos de forma correcta.
<b>Errores</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Los valores no se almacenan cada 2 minutos.</li> <li>b. Se almacenan valores erróneos (no coinciden con valores mostrados).</li> </ul>

Tabla 16. Prueba: Almacenaje

### 5.1.9 Prueba: Histórico

<b>Requisito/s</b>	R4, R5.2
<b>Prueba</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Se descargará el fichero de datos almacenados con las variables de temperatura, humedad, presión, partículas en suspensión de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM10 y PM2.5, Ozono - O3, dióxido de nitrógeno - NO2 y monóxido de carbono – CO.</li> <li>2. Se procederá leer los datos temperatura, humedad, presión, partículas en suspensión de diámetro menor a 10 y 2.5 micras - PM10 y PM2.5, Ozono - O3, dióxido de nitrógeno - NO2 y</li> </ol>



	monóxido de carbono – CO durante una hora.
<b>Salida</b>	a. Los datos simulados se almacenan cada 2 minutos correctamente. b. Se almacenan todos los datos.
<b>Errores</b>	a. No se almacenan los datos en el histórico. b. Se almacenan valores erróneos (no coinciden con valores mostrados).

*Tabla 17. Prueba: Histórico*

## 6 Casos de uso

### 6.1 Actores del sistema

Nombre	Descripción
Usuario	Grupo de personas que van a hacer uso de la aplicación
Sistema	Representa el conjunto entre el Hardware y el software del sistema de monitorización meteorológica remota
Tiempo	Representa al reloj interno que invoca a una frecuencia dada ciertos casos de uso.

Tabla 18. Actores del sistema

### 6.2 Diagrama general

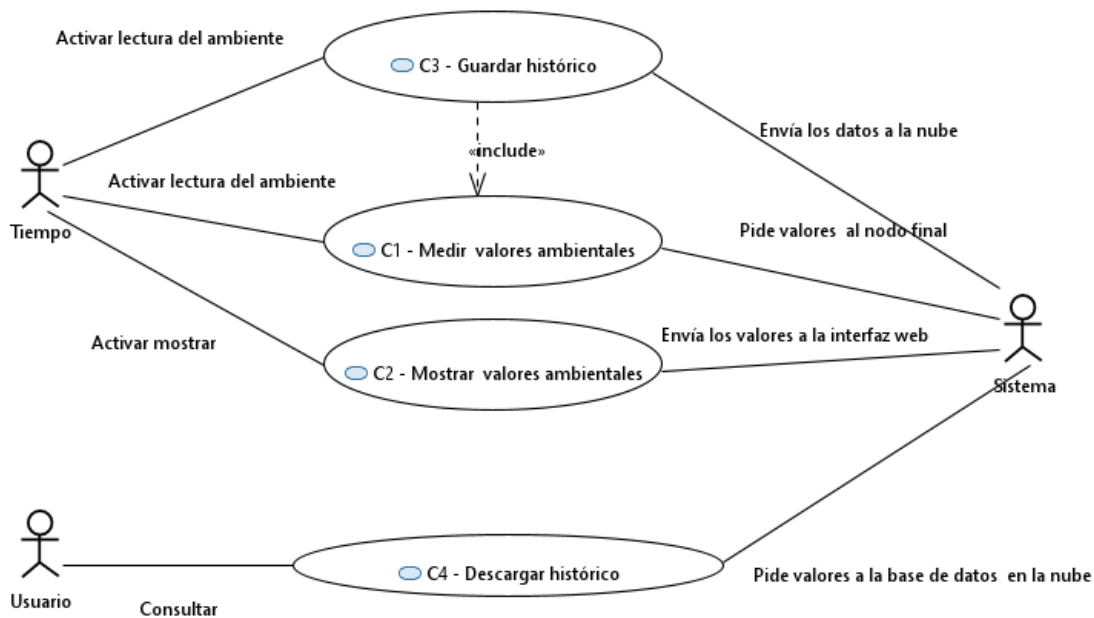


Figura 3. Diagrama general de casos de uso

### 6.3 Descripción textual de los casos de uso



### 6.3.1 C1 Medir los valores ambientales

#### 6.3.1.1 Contexto de uso:

A una frecuencia dada, se miden los datos de los sensores del nodo final ubicado en la zona urbana establecida.

#### 6.3.1.2 Actor Principal:

Tiempo.

#### 6.3.1.3 Participantes y Objetivos:

Participante	Objetivo
Tiempo	Activar la lectura de las variables ambientales y meteorológicas.
Sistema	Pide valores al nodo final (estación remota).

*Tabla 19. Participantes y Objetivos / Medir valores ambientales*

#### 6.3.1.4 Pre Condiciones:

PC conectado a internet, nodo final (estación remota) activo, concentrador Activo y la puerta de enlace activa.

#### 6.3.1.5 Garantías mínimas:

Se almacena el valor de las variables ambientales y meteorológicas correctamente.

#### 6.3.1.6 Escenario de éxito principal:

- El Tiempo solicita a la estación de monitorización meteorológica remota la lectura de las variables ambientales.
- El sistema devuelve el valor de los sensores.
- El sistema de monitorización meteorológica actualiza su valor interno de los sensores.

#### 6.3.1.7 Escenario secundario 1

No obtenemos respuesta de alguno de los sensores.

#### 6.3.1.8 Escenario secundario 2:

No obtenemos respuesta de ninguno de los sensores.

#### 6.3.1.9 Escenario secundario 3:



No actualiza el valor de los sensores.

## 6.3.2 C2 Mostrar los valores ambientales

### 6.3.2.1 Contexto de uso:

A una frecuencia dada, se miden los datos de los sensores del nodo final ubicado en la zona urbana establecida.

### 6.3.2.2 Actor Principal:

Tiempo.

### 6.3.2.3 Participantes y Objetivos:

Participante	Objetivo
Tiempo	Activar el procedimiento para mostrar los datos de del sistema.
Sistema	Envía los valores a la interfaz web

*Tabla 20. Participantes y Objetivos / Mostrar los valores ambientales*

### 6.3.2.4 Pre Condiciones:

PC conectado a internet, nodo final (estación remota) activo, concentrador activo y la Gateway activa.

### 6.3.2.5 Garantías mínimas:

El Sistema de monitorización meteorológica remota muestra el valor de los sensores en la interfaz web.

### 6.3.2.6 Escenario de éxito principal:

- El Tiempo solicita al sistema de monitorización meteorológica remota que muestre los datos meteorológicos y ambientales correspondientes a cada sensor.
- El Sistema de monitorización meteorológica remota muestra el valor medido y almacenado de los sensores en la interfaz web.

### 6.3.2.7 Escenario secundario 1:

No muestra ningún valor.



### 6.3.2.8 Escenario secundario 2:

No muestra la actualización de los valores en el tiempo correspondiente.

## 6.3.3 C3 Guardar Histórico

### 6.3.3.1 Contexto de uso:

El usuario desea que todas las lecturas de los sensores queden almacenadas en la nube a cierta frecuencia en un histórico.

### 6.3.3.2 Actor Principal:

Tiempo.

### 6.3.3.3 Participantes y Objetivos:

Participante	Objetivo
Tiempo	Activar el almacenamiento de los datos de todos los sensores.
Sistema	Envía los datos de los sensores a la nube.

Tabla 21. Participantes y Objetivos / Guardar Histórico

### 6.3.3.4 Pre Condiciones:

Tener disponibilidad en la nube para guardar información.

### 6.3.3.5 Garantías mínimas:

Datos almacenados.

### 6.3.3.6 Escenario de éxito principal:

- El Tiempo activa la lectura de cada uno de los sensores.
- El Sistema de monitorización meteorológica remota se comunica con el nodo final.
- El nodo final devuelve la información captada de cada uno de sus sensores.
- El Sistema de monitorización meteorológica remota almacena en la nube los datos de los sensores.

### 6.3.3.7 Escenario secundario:

- El Sistema de monitorización meteorológica remota no almacena en la nube los datos de los sensores y el índice de calidad del aire.



### 6.3.4 C4 Descargar histórico.

#### 6.3.4.1 Contexto de uso:

El usuario desea descargar los datos guardados en la nube.

#### 6.3.4.2 Actor Principal:

Usuario.

#### 6.3.4.3 Participantes y Objetivos:

Participante	Objetivo
Usuario	Descarga datos anteriores almacenados en la nube.
Sistema	Pide los valores a la base de datos en la nube.

*Tabla 22. Participantes y Objetivos / Descargar histórico*

#### 6.3.4.4 Pre Condiciones:

Datos almacenados en la nube.

#### 6.3.4.5 Garantías mínimas:

Mostrar los datos solicitados.

#### 6.3.4.6 Escenario de éxito principal:

- El Sistema de monitorización meteorológica tiene acceso a la información de la nube.
- La nube devuelve la información solicitada.
- El Sistema de monitorización meteorológica remota descarga los datos solicitados en el ordenador.

#### 6.3.4.7 Escenario secundario:

- El Sistema de monitorización meteorológica remota no descarga los datos guardados en la nube.



## 7 Plan de aceptación

Nombre del entregable	Pruebas asociadas para su validación	Responsable
Interfaz web	Prg1, Prg2, Prg3	Jefe de la empresa
Instalación de del sistema	Prg1 y Prg2	Jefe de la empresa

Tabla 23. Plan de aceptación

### 7.1 Pruebas

Lectura sensores	Prg1
<b>Descripción:</b> Se procederá a realizar lecturas de los sensores del nodo final (estación remota) con sensores externos que confirmen sus valores.	
<b>Prerrequisitos</b> Nodo final, la Gateway encendida y funcionando, comunicación LoRa funcionando; mediciones de sensores externos funcionando.	
<b>Pasos:</b> 1.- El usuario ingresa a la interfaz web desde un pc. 2.- El usuario puede observar desde la interfaz web las lecturas de los sensores.	
<b>Resultado esperado:</b> Los valores generados por los sensores externos coinciden con los de la interfaz web.	
<b>Resultado obtenido:</b>	

Tabla 24. Prueba lectura sensores

Comprobar almacenamiento de datos históricos	Prg2
<b>Descripción:</b> Se procederá a realizar lecturas durante un periodo de tiempo determinado se tomará nota de los datos que muestra la interfaz web, estos deben coincidir con los almacenados.	
<b>Prerrequisitos</b> Nodo final, la Gateway encendida y funcionando, comunicación LoRa funcionando; Interfaz web activa, comunicación con la nube establecida.	





<p><b>Pasos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.- Se inicializa el Sistema hardware/software</li> <li>2.-El usuario ingresa a la interfaz web desde un pc con conexión a internet.</li> <li>3.- El usuario puede observar desde la interfaz web las lecturas de los sensores.</li> <li>4.-El usuario anotará las lecturas durante un periodo de tiempo determinado.</li> <li>5.El usuario realizará una comparativa entre los datos leídos con los almacenados.</li> </ol>
<p><b>Resultado esperado:</b></p> <p>El usuario puede observar los datos históricos en cualquier momento desde la interfaz web.</p>
<p><b>Resultado obtenido:</b></p>

Tabla 25. Prueba Comprobar almacenamiento de datos históricos

Descargar datos históricos	Prg3
<p><b>Descripción:</b></p> <p>Se descargará el histórico de los datos obtenidos por la estación meteorológica y de calidad del aire desde la interfaz web y se procederá a abrirlos con el fin de observar la información guardada.</p>	
<p><b>Prerrequisitos</b></p> <p>Interfaz web activa y comunicación con la nuble establecida.</p>	
<p><b>Pasos:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1.-El usuario ingresa a la interfaz web desde un pc con conexión a internet.</li> <li>2.- El usuario solicita a la web descargar el fichero con el histórico.</li> <li>3.El usuario abre el fichero con el histórico y puede observar la información.</li> </ol>	
<p><b>Resultado esperado:</b></p> <p>El usuario puede descargar los datos históricos en cualquier momento desde la interfaz web, abrir el fichero y observar los datos sin ningún problema.</p>	
<p><b>Resultado obtenido:</b></p>	

Tabla 26. Prueba descargar datos históricos

## 8 Arquitectura

### 8.1 Arquitectura Lógica

#### 8.1.1 Vista general

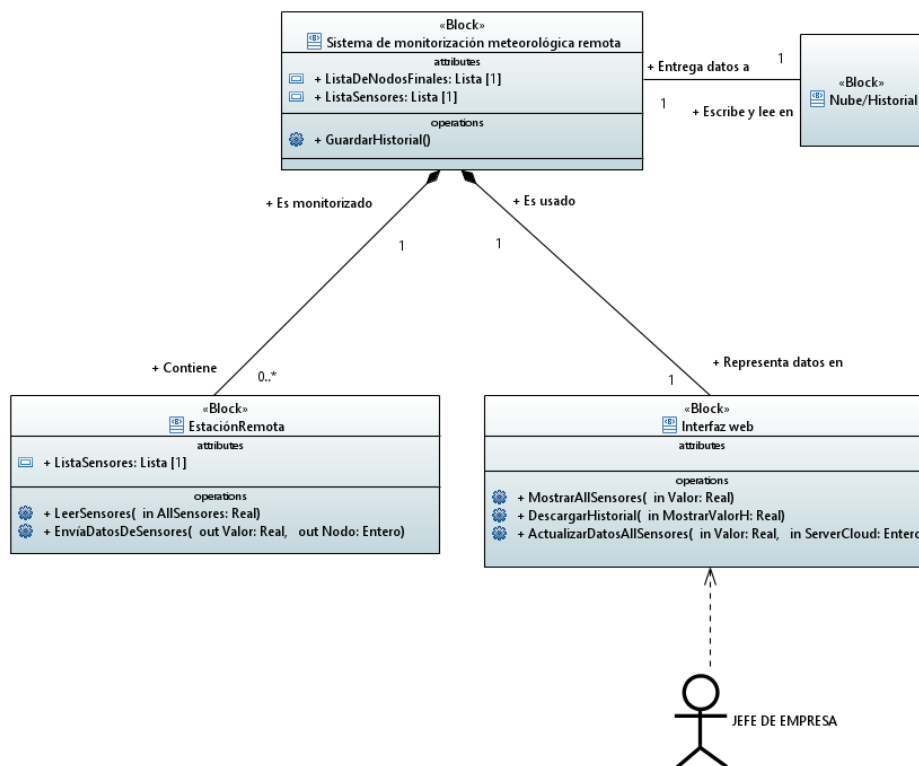


Figura 4. Arquitectura lógica

#### 8.1.2 Sistema de monitorización meteorológica remota

En este bloque se modela todo el software. El sistema de monitorización meteorológica remota está compuesto por una estación remota o nodo final que obtiene la información de todos los sensores y las envía, además cuenta con la nube donde almacenan los datos y una interfaz web que los muestra.

#### 8.1.3 Estación remota

Modela la estación remota. Un Estación remota contiene una lista de sensores asociados lee la





jefe de la empresa.

### **8.2.3 Nodo final**

Representa el nodo final del sistema o mota. En el cual están conectados todos los sensores y este a su vez con el nodo central.

### **8.2.4 Nodo central o Gateway**

Representa el nodo central del sistema (compuesta por el concentrador y la puerta de enlace). El cual está conectado con el nodo final con el fin de obtener la información proveniente de los sensores de forma inalámbrica y este a su vez con internet.

### **8.2.5 Red de comunicaciones**

Modela todas las telecomunicaciones que permiten la comunicación entre el nodo final, el nodo central y la conexión a internet.

### **8.2.6 Sensores**

Representa la generalización de todos los sensores que puede existir en los diferentes nodos finales.

### **8.2.7 Temperatura**

Representa a los sensores de Temperatura.

### **8.2.8 Humedad**

Representa a los sensores de Humedad.

### **8.2.9 Ozono troposférico (O3)**

Representa a los sensores de Ozono troposférico (O3).

### **8.2.10 Dióxido de Nitrógeno NO2**

Representa a los sensores de Dióxido de Nitrógeno NO2.

### **8.2.11 Monóxido de carbono**

Representa a los sensores de Monóxido de carbono.

### **8.2.12 Partículas en suspensión PM10**

Representa a los sensores de Partículas en suspensión PM10.

Estación de monitorización meteorológica remota



### 8.2.13 Partículas en suspensión PM2,5

Representa a los sensores de Partículas en suspensión PM2,5.

## 9 Diseño e implementación

### 9.1 Hardware del sistema

La estación meteorológica remota está conformada por un **nodo final** que contiene los sensores de humedad, temperatura, PM10, PM2.5, NO2, O3 y CO tiene la capacidad de enviar los datos adquiridos por medio de LoRa y una **Gateway** compuesta por un concentrador y una puerta de enlace, la cual recibe toda la información la procesa y la envía a internet para almacenarla y visualizarla desde cualquier dispositivo por medio de una plataforma web (Véase Figura 6).

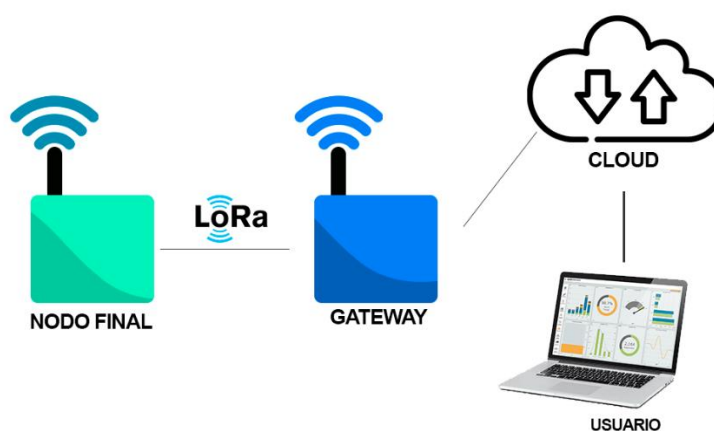


Figura 6. Esquema del hardware

A continuación, se describen detalladamente cada uno de los elementos que conforman el hardware.

#### 9.1.1 Nodo Final

El nodo final está compuesto por los siguientes elementos:

- Una tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1)
- Sensores DHT22, MQ7, MQ131 y PMS5003
- Controlador de carga para panel solar Adafruit BQ24074
- Módulo elevador de voltaje XI6009
- 2 baterías Lipo de 10 Amperios a 3.7V
- Panel Solar GLD-625
- PCB de elaboración propia AIR MOTE ONE V1.0
- Caja PVC

Estos componentes se encuentran dentro de una caja 16X16X11 genérica a excepción del panel solar que se encuentra externo. En la figura 7 se observa el nodo final ensamblado con todos

los componentes anteriormente mencionados.



Figura 7. Nodo Final implementado

#### 9.1.1.1 Tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1)



Figura 8. Wi-Fi LoRa 32 (V2.1)

Esta tarjeta cuenta con un ESP32, módulos LoRa y WiFi incorporados, además incluye una pantalla OLED como se puede observar en la figura 8, que nos permite de manera sencilla observar las lecturas de los sensores.

Entre las **características** principales de la tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1) [4] se encuentran el microprocesador ESP32 (MCU de 32 bits de doble núcleo + núcleo ULP), con chip de nodo LoRa SX1276/SX1278; una Interfaz micro USB con regulador de voltaje incorporado, protección ESD, protección contra cortocircuitos, blindaje RF; Wi-Fi integrado, LoRa, tres conexiones de red Bluetooth, antena 3D de metal de 2,4 GHz dedicada a Bluetooth, interfaz IPEX (U.FL) reservada para uso de LoRa; Pantalla OLED de matriz de puntos de 128 x 64 de 0,96;

Chip integrado CP2102 USB puerto serie, utilizado para la descarga de programas y la impresión de depuración. La tarjeta admite el entorno de desarrollo de Arduino, el fabricante proporciona la biblioteca Arduino® del protocolo ESP32 + LoRa que permite controlar las comunicaciones.

Este dispositivo tiene la finalidad en **METEO** de recibir la información proporcionada por los sensores, procesarla y enviarla por medio de LoRa al concentrador. La tarjeta de desarrollo dentro del sistema se puede alimentar por una fuente de poder de 5v o de baterías de Litio que son cargadas a través de un panel solar.

### 9.1.1.2 Sensores del nodo final

Los sensores que hacen parte del nodo final tienen la capacidad de medir temperatura, humedad, monóxido de carbono CO, dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>, Ozono O<sub>3</sub>, material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>.

Para obtener dichas magnitudes se emplean los sensores DHT22 (sensor de temperatura y humedad), MQ7 (sensor de monóxido de carbono), MQ131 (sensor de Ozono O<sub>3</sub> y dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub>) y el PMS5003 (sensor de material particulado PM<sub>10</sub> y PM<sub>2.5</sub>).

#### 9.1.1.2.1 Sensor PMS5003



Figura 9. Sensor de polvo y material particulado PMS5003

El sensor **PMS5003** [5] que se muestra en la figura 9, es un sensor que permite medir los niveles de concentración de partículas, entre ellas las PM<sub>2.5</sub> que hace referencia a las que tienen 2.5 micrones de diámetro o menores y PM<sub>10</sub> las de 10 micrones o menores. Este dispositivo funciona por medio de la dispersión de luz laser sobre las partículas suspendidas en el aire y que posteriormente captura la luz dispersa para obtener una estimación de las cantidades por unidad de volumen por medio de un microprocesador.

Se comunica a través de la interfaz UART y su voltaje de alimentación va desde 4,5 V hasta 5,5 V, cuenta con un rango de medición efectivo de 0 ~ 500µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub> estándar con resolución de 1µg/m<sup>3</sup> y un margen de error de ±10%; tiene un consumo ≤100mA y ≤200µA cuando está en



modo de bajo consumo, opera a una temperatura de  $-10^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$  y una humedad de  $0 \sim 99\%$ , tiene unas dimensiones de  $5\text{cm} \times 3.8\text{cm} \times 2.1\text{cm}$ .

#### 9.1.1.2.2 Sensor DHT22



*Figura 10. Sensor de temperatura y humedad. AM2302/DHT22*

El sensor **DHT22** [6] es un sensor de temperatura y humedad relativa que tiene una buena relación costo beneficio. Internamente contiene un sensor capacitivo de humedad y un termistor con el cual se puede medir el aire circundante, entrega los datos mediante una señal digital, es ideal para aplicaciones como controles automáticos de temperatura, monitoreo ambiental, aire acondicionado y otras aplicaciones. Tiene como ventaja que viene calibrado de fábrica y como desventaja que toma datos mínimos cada 2 segundos.

Tiene un voltaje de operación de 3V hasta 6V DC, un rango de medición de temperatura de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$  con precisión de  $<\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  y resolución de  $0.1^{\circ}\text{C}$ . El rango de medición de humedad es de 0 a 100% RH, precisión de 2% RH y resolución de 0.1%RH, cuenta con una interface digital Single-bus (bidireccional) y sus dimensiones son  $20 \times 15 \times 8$  mm, su forma física se puede observar en la figura 10.

#### 9.1.1.2.3 Sensor MQ131



*Figura 11. Sensor MQ131*

El sensor **MQ131** [7] es un sensor analógico de gas sensible al Ozono  $\text{O}_3$ , este compuesto por material sensitivo  $\text{SnO}_2$  y tiene un rango de concentración de detección de 10PPB - 2PPM. Este sensor debe ser calibrado para de acuerdo a la curva de comportamiento según las necesidades del usuario, es de respuesta rápida, gran sensibilidad y larga vida útil.

Su voltaje de operación es de 5V, cuenta con una interface de salida analógica y digital TTL ajustable, el sensor es ZYMQ131y su consumo de energía es de  $\leq 900\text{mW}$ , cuenta con un módulo que simplifica las conexiones, como se puede apreciar en la figura 11.

#### 9.1.1.2.4 Sensor MQ7



Figura 12. Sensor MQ7

El sensor **MQ7** [8] que se muestra en la figura 12, es un sensor de gas análogo que permite medir monóxido de carbono (CO), tiene la capacidad de detectar concentraciones entre 20ppm a 2000ppm, el módulo cuenta con una salida analógica proveniente de un divisor de voltaje conformado por el sensor y una resistencia de carga, cuenta con una salida digital TTL regulable con un led indicador.

Tiene una resistencia de calentamiento de 33 Ohm, su consumo de energía es 350mW aproximados y su voltaje de operación es de 5V.

#### 9.1.1.3 Controlador de carga para panel solar Adafruit BQ24074

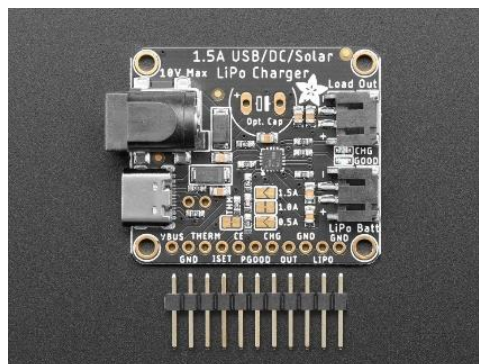


Figura 13. Controlador de carga para panel solar BQ24074

El controlador BQ24074 [9] permite cargar las baterías de polímero de litio (LiPoly) evitando una posible sobrecarga, puede usar energía USB, DC o Solar. Cuenta con un chip inteligente que si el voltaje se encuentra por debajo de 4.5V disminuye su consumo. Además, extrae la mayor cantidad de corriente posible de una celda solar, hasta su máxima carga.

Tiene un rango de voltaje de operación de entrada de 5 a 10V, carga baterías (LiPoly) de 3,7 V y 4,2 V. En caso de tener conectados USB y DC al mismo tiempo siempre utilizará la fuente con el voltaje más alto, la salida está regulada a 4.4V, su aspecto físico se puede observar en la figura 13.

Este dispositivo se utiliza en METEO con el fin de darle autonomía energética al nodo final que, en caso de un fallo en el suministro de energía de la red eléctrica comercial se pueda solventar el consumo con las baterías y el panel solar de forma automática.

#### 9.1.1.4 Módulo elevador de voltaje XI6009



Figura 14. Módulo elevador de voltaje XI6009

El módulo elevador de voltaje **XI6009** [10] es un elevador de voltaje DC con salida regulable por medio de un potenciómetro que entrega de 5V a 35V, puede suministrarle un voltaje de entrada DC de 3V hasta 32V, la corriente máxima de salida es de 3A y entrega una potencia de 30W, su temperatura operación está entre  $-40^{\circ}\text{C}$  y  $85^{\circ}\text{C}$  (Véase Figura 14).

Es implementado en el nodo final debido a que el circuito funciona con 5V y el controlador de energía solar BQ24074 entrega un voltaje de 4.4V, este debe ser elevado para cumplir con los requerimientos del microcontrolador ESP32 y demás elementos.

##### 9.1.1.4.1 Panel Solar GLD-625



*Figura 15. Panel Solar GLD-625*

El panel solar policristalino GLD-625 [11] entrega un voltaje de 7.2V y una potencia máxima de 25W sus medidas son 40x35x1.7 cm (Véase Figura 15).

Este elemento es el encargado de captar la energía de la radiación solar y enviarla al controlador para que este pueda cargar las baterías, este sistema es de respaldo para METEO.

#### 9.1.1.4.2 Baterías LiPo JOY1165113



*Figura 16. Batería LiPo JOY1165113*

Las Baterías recargables LiPo (Litio y polímero) tienen una gran capacidad de almacenamiento, y bajo peso, ofrece una tasa de descarga alta. El modelo JOY1165113 [12] cuenta con 10.000mAh un voltaje nominal de 3.7V, tiene un tamaño de 11\*65\*113mm y puede funcionar en el rango de temperatura de -20°C a 60°C (Véase Figura 16).

Para el METEO se utilizan dos baterías la cual brindan una capacidad de 20.000mAh, de esta forma podemos alimentar el circuito del nodo final en el caso que no haya suministro de la red eléctrica.

#### 9.1.1.4.3 PCB Air Mote One V1.0

La PCB se ha diseñado en el entorno de desarrollo EasyEDA [13] la cual ha permitido de forma gratuita utilizar todas sus funciones, cuenta con una gran librería que es alimentada en muchos casos por la mayoría de sus usuarios, de esta forma podemos encontrar todos los componentes de forma rápida.

Esta placa de circuito impreso es de una cara y tiene unas dimensiones de 9cmx12cm, está elaborada en fibra de vidrio Fr-4 con agujeros perforados, máscara de componentes en la parte superior y antisolder en la cara que contiene el cobre. En la figura 17 se observa la PCB con sus componentes ya montados.

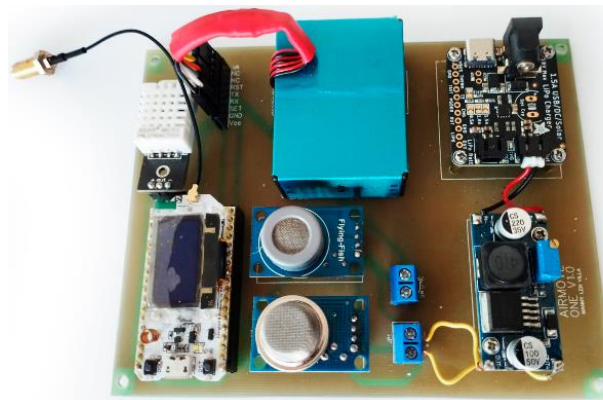


Figura 17. Circuito Nodo final

#### 9.1.1.4.4 Caja PVC



Figura 18. Caja de PVC

Esta caja [14] que se muestra en la figura 18 está fabricada con material PVC y tiene unas medidas de 16cmX16cmX11cm, es utilizada principalmente para instalaciones de circuitos cerrados de televisión, cierra con 4 tornillos metálicos. Cuenta con las dimensiones apropiadas para contener tanto las baterías como el circuito del nodo final.

### 9.1.2 Gateway

El nodo Gateway o nodo central está compuesto por la tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32

(V2.1) [4] que actúa como concentrador y una placa Raspberry Pi 3 Model B [15] que funciona para METEO como puerta de enlace.

### 9.1.2.1 Concentrador

El concentrador es una tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1) [4] “descrita en el apartado del nodo final”. Este dispositivo está conectado a WiFi y es el encargado de recibir la información por LoRa y enviarla a la Puerta de enlace mediante el protocolo MQTT ya que no se requiere un gran ancho de banda.

### 9.1.2.2 Puerta de enlace



Figura 19. Raspberry Pi 3 Model B

La placa Raspberry Pi 3 Model B [15] que se puede observar en la figura 19 es una pequeña computadora personal, que está compuesta por un procesador ARMv8 de 64 bits, cuenta con 4 puertos USB, salida HDMI para conectar un monitor, puerto Ethernet, modulo WiFi 802.11 b/g/n y capacidad para conectarse por Bluetooth, gracias a la potencia de procesamiento soporta ARM GNU/Linux (Raspbian, XBMC, Snappy Ubuntu Core) y Microsoft Windows 10. Cuenta con 1 Gb de memoria RAM LPDDR2 que se comparten con la GPU Broadcom VideoCore IV @ 400MHz.

Este dispositivo es el encargado en METEO de recibir la información del concentrador, y entregar un panel de visualización Dashboard que contiene la representación gráfica de la información, el sistema operativo que se ha utilizado es Raspberry Pi OS, este será cargado en una memoria micro SD externa.

### 9.1.3 Costos de los materiales

El costo de los materiales que se han utilizado para la implementación de METEO se detallan de forma independiente y se calcula el total, esta información se muestra en la tabla 27:

No	CANT	DESCRIPCIÓN	PRECIO
1	1	Raspberry Pi 3 Model B	74,00 €
2	1	Microsd Sandisk Industrial Clase 10	27,14 €
3	2	Tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1)	70,08 €



4	1	Sensor temperatura y humedad AM2302/DHT22	5,67 €
5	1	Sensor de Ozono MQ131 - V2	18,51 €
6	1	Sensor de gas de Monóxido de Carbono MQ135	2,71 €
7	1	Sensor de polvo y material particulado PMS5003	28,86 €
8	1	Controlador de carga para panel solar Adafruit BQ24074	17,27 €
9	1	Módulo elevador de voltaje XI6009	4,93 €
10	2	Batería LiPo JOY1165113	34,54 €
11	1	Panel solar GLD-625	19,74 €
12	1	Caja PVC 16X16X11 cm	7,40 €
13	1	Platina de aluminio 1m para soporte panel solar	2,20 €
14	12	Postes metálicos para circuito impreso	12,80 €
15	1	Acrílico de 15x15 cm soporte para PCB	1,50 €
16	1	Kit de conectores hembra macho	1,70 €
17	1	Switch on/off	0,80 €
18	1	Cable dúplex 2m	1,20 €
19	3	Fuente de alimentación - 5V,2.5A	15,36 €
20	1	Lamina angular para soporte panel solar 30 cm	2,50 €
21	1	Fabricación de PCB de 9x12 cm en fibra Fr-4	11,00 €
22	2	Terminal chica con 2 tornillos, para circuito impreso	0,50 €
23	1	Pack hosting y dominio meteouma.com	10 €
<b>TOTAL</b>			<b>370,41 €</b>

*Tabla 27. Costos de los materiales*

Como se puede observar el costo total de la implementación del prototipo del sistema METEO es de 370,41€.

## 9.2 Software del sistema

En este apartado se describe el software implementado en el nodo final, el concentrador, la puerta de enlace, la nube y la página web pública.

### 9.2.1 Software del nodo final

El software implementado en la tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1), está representado de forma general en la Figura 20:

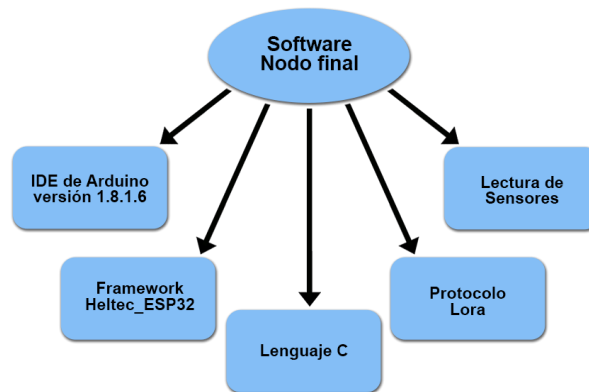


Figura 20. Software del Nodo final

La programación de la tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1) [4] la cual es la encargada de recibir la información de los sensores, procesarla y luego transmitirla, es realizada en el entorno de desarrollo IDE de Arduino versión 1.8.1.6 [16] con el lenguaje C debido a que el fabricante proporciona la biblioteca Arduino® ESP32 + LoRa que permite realizar la comunicación LoRa configurando todos los parámetros como la frecuencia de trabajo que para nuestro caso está en la banda de 915 Mhz el permitido en Colombia, además el envío y recepción de paquetes.

En primera instancia se ha realizado la calibración de los sensores MQ7 y MQ131. Posteriormente se obtuvieron los valores en ppm y ppb por medio de la ecuación que describe el comportamiento los gases a medir; el fabricante de estos sensores no proporciona las ecuaciones, por ello se desarrollaron por medio de los gráficos de sensibilidad.

### 9.2.1.1 Calibración

Para realizar la calibración se ha colocado el sensor en un ambiente con aire puro relativamente, con el fin de medir el valor de la resistencia en reposo. Posteriormente se obtiene el valor de la calibración realizando la relación entre las resistencias [36].

### 9.2.1.2 Ecuación del Monóxido de carbono (CO)

Para realizar la calibración [20] del módulo del sensor MQ7 es necesaria obtener la ecuación que represente los puntos del gráfico del comportamiento que suministra el fabricante, se puede observar en la figura 21.



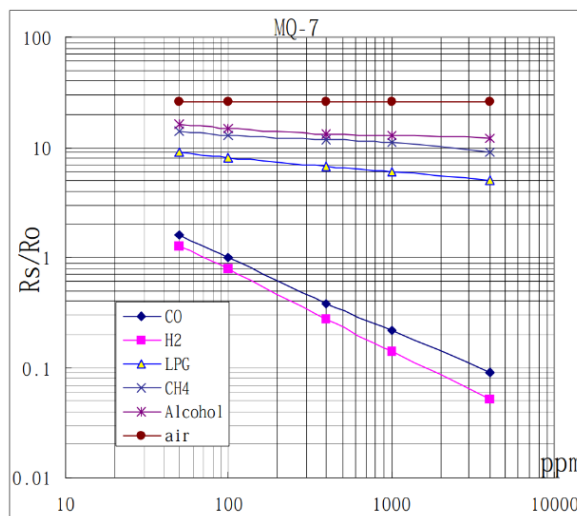


Figura 21. Características de sensibilidad del MQ-7 [17]

En primera medida debemos obtener las coordenadas de la sensibilidad del aire y el monóxido de carbono CO el cual es el gas que nos interesa medir en este sensor, para ello utilizamos la aplicación en línea **WebPlotDigitizer** [18] que ha permitido a través de la figura 21 obtener las coordenadas de forma precisa, al utilizarla se obtienen los datos que se representan en las tablas 28 y 29:

SENSIBILIDAD AIRE	
Rs/Ro	ppm
25,8903278	49,9935984
25,88604	99,9508436
25,9630665	400,405571
25,9572989	1014,11066
25,8631491	4044,45463

Tabla 28. Sensibilidad en el aire MQ7

SENSIBILIDAD CO	
Rs/Ro	ppm
1,6097338	50,0547185
1,00027595	99,7214403
0,37928083	399,345397
0,21915111	1010,09657
0,09024981	4045,1634

Tabla 29. Sensibilidad CO



Para el caso de la sensibilidad en el aire podemos observar que se comporta como una constante por esta razón podemos determinar que es 26 y para el monóxido de carbono (CO) matemáticamente podemos representar estos datos en una función de la figura 22 [21]:

$$F(x) = F_0 \left( \frac{x}{x_0} \right)^{\frac{\log(F_1/F_0)}{\log(x_1/x_0)}}$$

Figura 22. Representación función logarítmica [19]

Reemplazamos en la ecuación los puntos más evidentes en la curva de sensibilidad para el CO que son:

$$\begin{aligned} F_0 &= 1; x_0 = 100 \\ F_1 &= 0,09; x_1 = 4000 \end{aligned}$$

Reemplazando en la siguiente fórmula obtenemos:

$$F(x) = 1 \left( \frac{x}{100} \right)^{\frac{\log(\frac{1}{0,09})}{\log(\frac{4000}{100})}}$$

$$F(x) = 0,01x^{-0,652758009}$$

$$\frac{R_s}{R_0} = (0,01ppm)^{-0,652758009}$$

$$\left( \frac{R_s}{R_0} \right) = (0,01ppm)^{-0,652758009}$$

$$\left( \frac{R_s}{R_0} \right)^{-1,53196} = 0,01ppm$$

$$ppm = 100 \left( \frac{R_s}{R_0} \right)^{-1,53196}$$

Por medio de Excel se puede obtener una ecuación de la curva de la figura 23, la cual es aproximada con la expresión resultante:

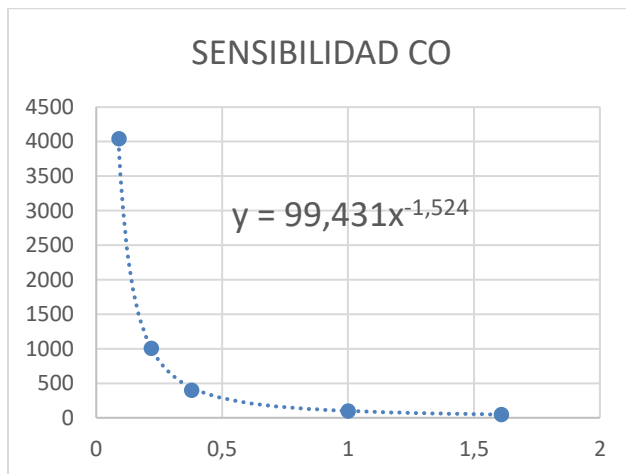


Figura 23. Sensibilidad CO

De esta forma ya podemos representar las ppm de monóxido de carbono (CO).

### 9.2.1.3 Ecuación del Ozono (O3) y Dióxido de nitrógeno (NO2)

Al igual que el MQ7 debe calibrarse el sensor MQ131, para ello se han obtenido las funciones en este caso para el Ozono (O3) y Dióxido de nitrógeno (NO2). A continuación, en la Figura 24 se observa el gráfico de sensibilidad del MQ131:

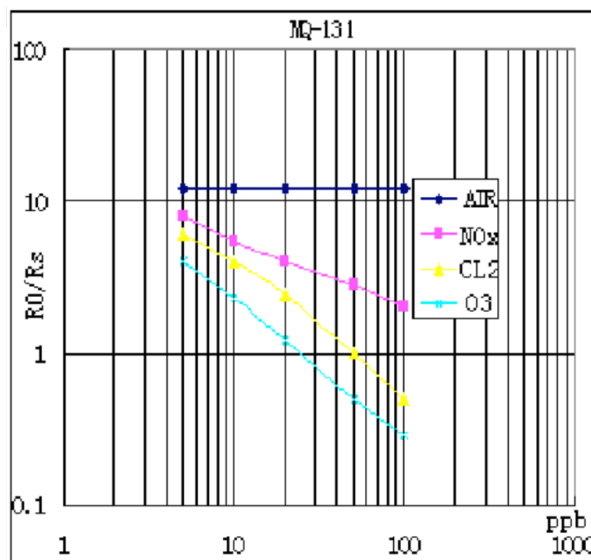


Figura 24. Características de sensibilidad del MQ-131 [22]

Se presentan en la tabla 30, 31 y 32 las coordenadas extraídas con **WebPlotDigitizer** a partir de



la figura 24. Las ecuaciones y las figuras 25 y 26 representan los gráficos de la curva de sensibilidad de NO<sub>2</sub> y O<sub>3</sub> respectivamente, han sido desarrollados en Excel con el fin de facilitar los cálculos.

SENSIBILIDAD NO <sub>2</sub>	
Rs/Ro	ppb
7,89913503	4,9878877
5,39003606	9,94021627
4,01226357	20,0485669
2,83031996	50,7842645
2,02397001	99,4021627
4,46703837	15,1247255
3,23702953	33,7789257
6,41655262	7,32121791

Tabla 30. Sensibilidad del NO<sub>2</sub>

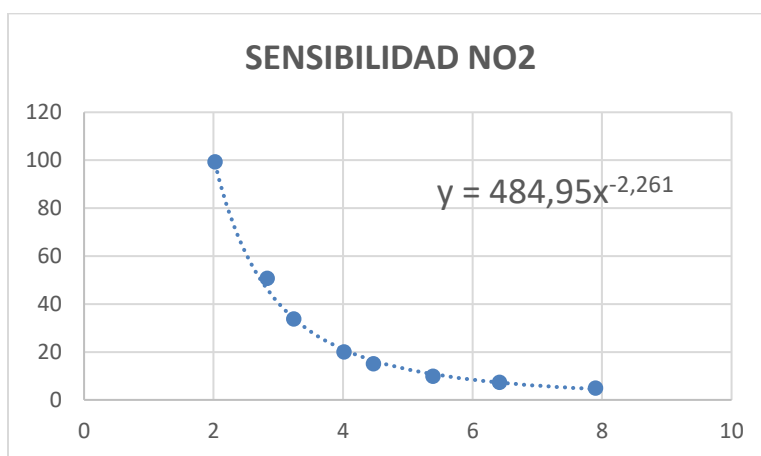


Figura 25. Sensibilidad del NO<sub>2</sub>

SENSIBILIDAD O <sub>3</sub>	
Rs/Ro	ppb
4,00630887	4,96306542
2,32465899	9,93687897



2,11899339	11,0217359
1,47998071	15,8398112
1,20153703	20,1024967
0,56611833	42,8301899
0,39537346	65,5013121
0,33233147	80,5842188
0,28587879	99,1402478

Tabla 31. Sensibilidad del O3

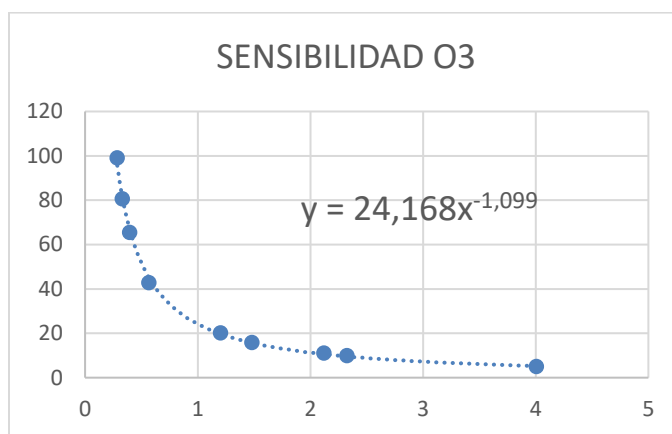


Figura 26. Sensibilidad del O3

Se obtienen las coordenadas de la sensibilidad del aire:

SENSIBILIDAD AIRE MQ131	
Rs/Ro	ppb
12,042567	4,987887696
12,034523	9,940216267
12,0263445	20,04856687
12,0155183	50,78426446
12,0077016	99,40216267

Tabla 32. Sensibilidad del Aire del MQ131

De esta forma ya podemos representar las ppb del Ozono (O3) y las ppb del Dióxido de nitrógeno (NO2).



#### 9.2.1.4 Lectura de sensores MQ7 y MQ131

Luego de haber obtenido los valores calibrados para los sensores MQ7 y MQ131 [23], en conjunto con las respectivas ecuaciones que describen el comportamiento de cada gas se puede representar el valor aproximado de las partes por millón del monóxido de carbono CO, y las partes por billón del Dióxido de Nitrógeno NO<sub>2</sub> y el Ozono O<sub>3</sub>.

#### 9.2.1.5 Lectura del sensor PMS5003

Del Sensor de partículas **PMS5003** se obtienen los valores de PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>, para ello el fabricante proporciona una librería que es de gran utilidad la "PMS.h" que por medio de unas líneas de comando se han podido obtener estas magnitudes [24]. El dispositivo está en capacidad de leer también PM<sub>1.0</sub>; pero debido a que tiene un mayor margen de error se decide descartar esta medida.

#### 9.2.1.6 Lectura del sensor DHT22

Para realizar la lectura del sensor de humedad y temperatura DHT22 se utiliza la librería "DHTesp.h" la cual permite obtener la información capturada por este sensor de forma sencilla. Primero se debe configurar el pin de entrada en el void setup de la siguiente forma `dht.setup(13, DHTesp::DHT22)`; después se obtienen los datos con `"measurement.temperature"` y `"measurement.humidity"` para la temperatura y humedad respectivamente. Este sensor está calibrado de fábrica [25]:

#### 9.2.1.7 Envío de información a través de LoRa

Luego de haber tomado las mediciones de los sensores y procesado la información, se envía al concentrador por medio de LoRa. Se utiliza la librería que proporciona el fabricante "heltec.h" que permite realizar la configuración y el envío de los paquetes. Se ha colocado la frecuencia de trabajo en la banda de 915MHz para Colombia de la siguiente forma `#define BAND 915E6`. Para enviar el paquete se ha utilizado la función `LoRa.print()`, además es necesario separar cada uno de los datos por un símbolo que según las especificaciones es "|" [26]. Estos datos también serán visualizados a través de la pantalla Oled de la tarjeta de desarrollo.

### 9.2.2 Software del concentrador

El software del concentrador esta implementado en una tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1) y está representado de forma general en la Figura 27:

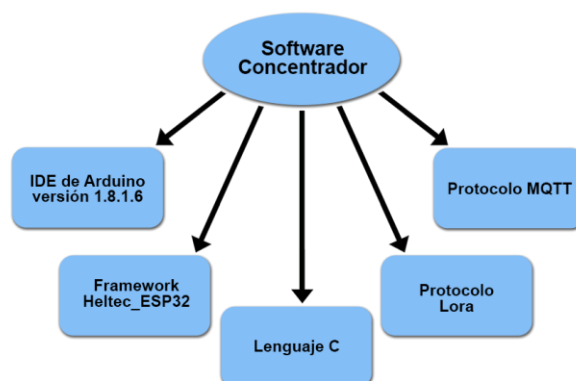


Figura 27. Software del Concentrador

Se ha programado el concentrador para la recepción de los paquetes LoRa, la conexión a WiFi y la utilización del protocolo MQTT para que la puerta de enlace reciba la información.

### 9.2.2.1 Recepción de información a través de LoRa

Para recepción del paquete LoRa enviado por el nodo final se utiliza la librería proporcionada por el fabricante "heltec.h", se configura la banda de frecuencia `#define BAND 915E6` y se obtiene la información con `"LoRa.readStringUntil('/')"` [26]. Se puede detallar que se utiliza el mismo símbolo que en el nodo final `'|'` para obtener la información separada.

### 9.2.2.2 Protocolo MQTT

Con respecto a la implementación del protocolo MQTT es necesario la utilización de un bróker que permita realizar la comunicación con la puerta de enlace. Para este proyecto se ha utilizado `broker.mqtt-dashboard.com` [27] el cual es gratuito para esta aplicación. Se utiliza la librería `<PubSubClient.h>` el cual hace que la placa se comporte como un cliente MQTT, permite publicar mensajes y suscribirse a un tópico o varios para recibir mensajes, cabe indicar que el dispositivo debe estar conectado a internet. Se ha utilizado la función `reconnect()`, la cual espera, hasta poder conectarse al servidor MQTT, una vez conectado el cliente se imprime el mensaje `"connected"` de lo contrario, intentará conectarse nueva mente pasados 5 segundos.

Para poder publicar la información es necesario convertir esta cadena en una matriz de caracteres `"(char*) temp.c_str()"`, para enviar los mensajes a cada uno de los tópicos ha realizado de la siguiente forma: `"client.publish("esp32/temperature", (char*) temp.c_str());"`. Siendo `"esp32/temperatura"` el tópico con el que se ha publicado la temperatura.

### 9.2.3 Software de la puerta de enlace

El software de la puerta de enlace esta implementado en una placa Raspberry pi 3 model B y está representado de forma general en la Figura 28:

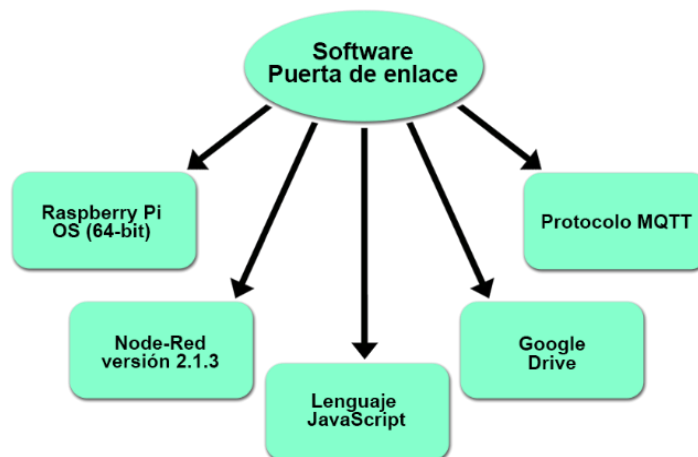


Figura 28. Software de la puerta de enlace

El sistema operativo instalado en la placa es el “Raspberry Pi OS” (64-bit) 11 [28], basado en Debian y ha permitido realizar la instalación y ejecución de Node-Red versión 2.1.3 la herramienta de desarrollo que se ha utilizado para programar la puerta de enlace de METEO, que básicamente tiene la función de recibir la información por medio del protocolo MQTT, visualizarla en una Dashboard y guardarla en la nube. La programación de algunos nodos es realizada en JavaScript.

Hay que tener en cuenta que Node-Red usa las definiciones flujo para la secuencia de acciones, y nodo para representar una actividad implementada, estas son utilizadas en los apartados: 9.2.3, 9.2.3.1, 9.2.3.1.1, 9.2.3.1.2, 9.2.3.1.3, 9.2.3.1.4 y 9.2.3.1.5.

### 9.2.3.1 Creación de la Dashboard o panel de visualización

Para la recepción y visualización de los datos se ha utilizado Node-Red [29], el cual es una herramienta de programación basada en flujo, con proyección para el desarrollo de aplicativos que permitan conectar dispositivos de hardware, API y servicios en línea como IoT, es de código libre (Open Source) construida en Node.js. Fue desarrollada por IBM al igual que el protocolo MQTT, en la actualidad pertenece a Fundación OpenJS. El editor es basado en navegador web y las funciones son creadas bajo java script. En la figura 29 se puede observar la estructura general del flujo implementado en METEO.



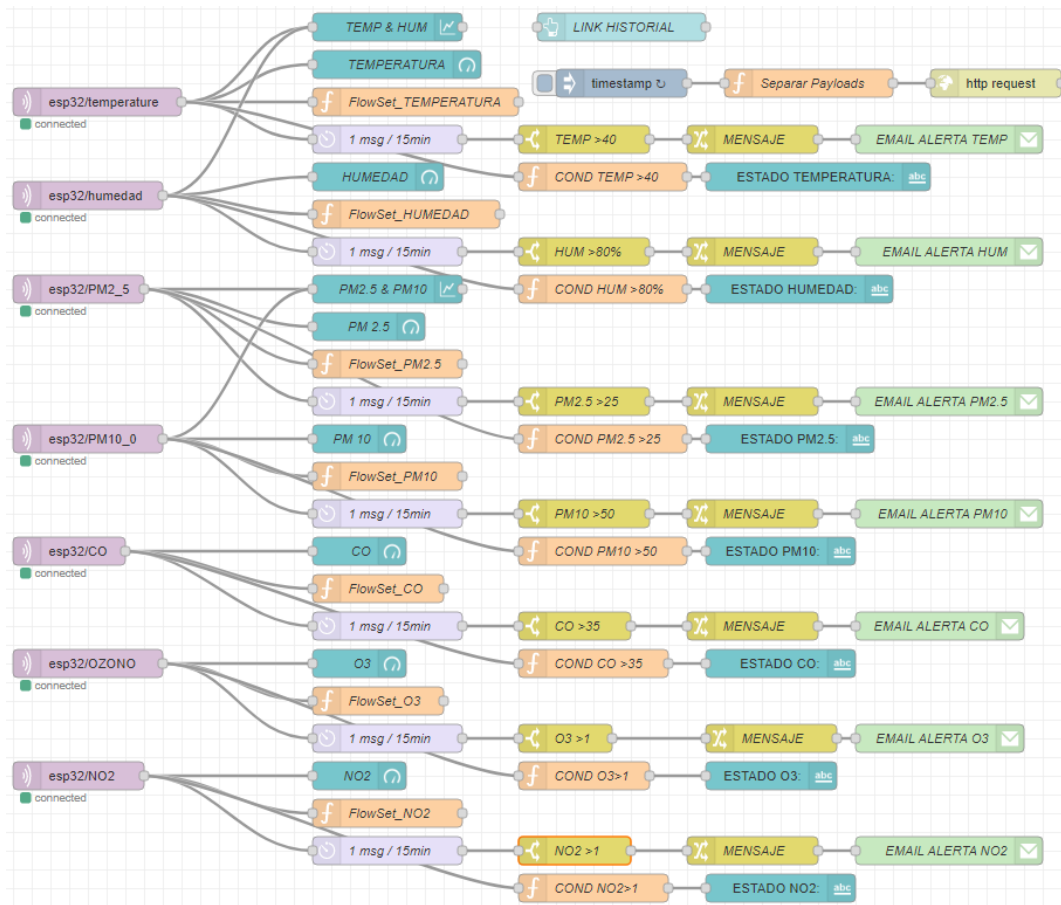


Figura 29. Visión general del flujo

La programación realizada en Node-Red que se observa en la Figura 29, está conformada por 69 nodos y está orientada a la creación de la Dashboard, la cual muestra la información recibida del concentrador por medio del protocolo MQTT, envía los datos a la nube para ser almacenados y se crean las alertas que son enviadas posteriormente a un correo electrónico.

A continuación, se muestra un resumen detallado de los nodos y líneas de flujo que componen el programa de la puerta de enlace.

### 9.2.3.1.1 Recepción de datos

La recepción de datos que es realizada mediante el protocolo MQTT, requiere del nodo **mqtt in**, que se muestra en la figura 30:

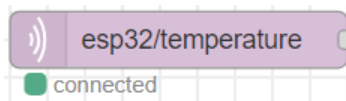
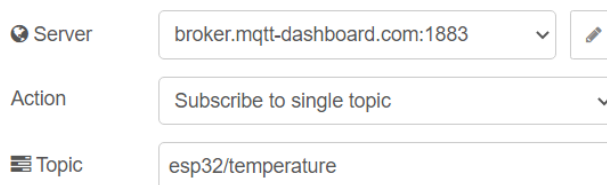


Figura 30. Nodo mqtt in

Este nodo permite realizar a suscripción al topic esp32/temperatura que contiene la información de la temperatura, el servidor utilizado es el bróker.mqtt-dashboard.com y el puerto el 1883, el indicador verde hace referencia a que la conexión con el bróker está establecida. La configuración del nodo se representa en la figura 31.



The image shows a configuration interface for an MQTT node. It consists of three rows of input fields:

- Server:** A dropdown menu containing the text "broker.mqtt-dashboard.com:1883" and a small edit icon to its right.
- Action:** A dropdown menu containing the text "Subscribe to single topic".
- Topic:** A text input field containing the text "esp32/temperature".

Figura 31. Configuración mqtt in

De igual forma para todos los topics se realiza el mismo procedimiento descrito; de esta forma se reciben todos los datos provenientes del concentrador.

### 9.2.3.1.2 Visualización de datos



Figura 32. Nodo gauge

El nodo de la figura 32 se denomina **gauge**, genera un indicador circular que para este caso muestra la temperatura. De esta forma se representa en la Dashboard (Véase Figura 33).

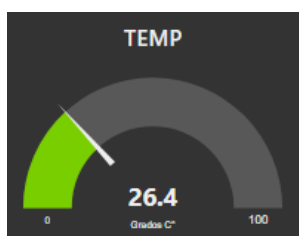


Figura 33. Indicador de temperatura

La representación de los datos vs el tiempo viene dada por el nodo chart que para el caso de METEO muestran la temperatura y la humedad en un plot y las partículas en suspensión en otro (Véase Figura 34 y 35).



Figura 34. Nodo chart

De la siguiente forma se muestra en la Dashboard:

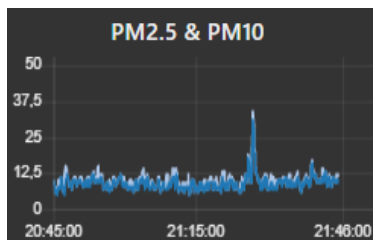


Figura 35. Plot de PM2.5 y PM10

Para todos los datos se realiza el mismo procedimiento descrito; de esta forma se puede visualizar toda la información proveniente del concentrador.

#### 9.2.3.1.3 Envío de alertas al E- Mail

Es importante para el administrador del sistema poder recibir una alerta cuando los parámetros que se están midiendo superan el umbral establecido; para el caso de METEO cuando los gases o partículas, representan un peligro para la salud se envía un correo electrónico indicando que se ha superado el límite establecido.

La línea de flujo que representa este desarrollo dentro de Node-Red es la siguiente [30]:

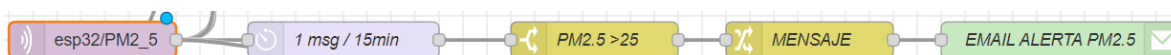


Figura 36. Flujo envío de E-Mail

En la figura 36 se observan 5 nodos, el primero es un **mqtt in** que es el encargado de recibir la información del topic esp32/PM2\_5, un nodo **delay** que permite realizar una lectura según un tiempo establecido, para este caso 15 minutos, esto con el fin de que se envíe un e-mail cada 15 minutos y no cada 5 segundos como viene por defecto, el tercer nodo se denomina **switch** el cual evalúa si la medición ha superado el umbral, el cuarto nodo es un **change**, este contiene el mensaje que se desea enviar y por último el nodo **email** que por medio de un servidor de correos se conecta con el servicio y envía el mensaje.

La configuración del nodo email viene dada en la figura 37.



Use secure connection.

TLS option  Check server certificate is valid

Figura 37. Configuración del nodo email

Se deben introducir la dirección de correo a la que va dirigido el mensaje y la cuenta de Gmail que nos servirá para el envío del mensaje; es obligatorio crear una contraseña de aplicación para que el servidor permita realizar la conexión.

Se ha realizado una prueba superando el umbral artificialmente en cada una de las variables. En la figura 38 se puede observar que efectivamente se generaron las alertas.

Principal	Social	Promociones <span>4 nuevos</span>
<input type="checkbox"/> ☆ impulsomyt 2	esp32/N02 - N02 por encima de 1 ppm	Hello Paperspace, ThingSpeak ...
<input type="checkbox"/> ☆ impulsomyt 2	esp32/CO - CO por encima de 35 ppm	
<input type="checkbox"/> ☆ impulsomyt 2	esp32/PM10_0 - PM10 por encima de 50	
<input type="checkbox"/> ☆ impulsomyt 2	esp32/temperature - Temperatura por encima de 40	
<input type="checkbox"/> ☆ impulsomyt 2	esp32/PM2_5 - PM2.5 por encima de 25	
<input type="checkbox"/> ☆ impulsomyt 3	esp32/OZONO - O3 por encima de 1 ppm	
<input type="checkbox"/> ☆ impulsomyt	esp32/humedad - Humedad por encima de 80%	

Figura 38. Mensajes de alerta

### 9.2.3.1.4 Envió de datos a la nube

El envío de datos a la nube viene representado por 5 nodos que se muestran a continuación:

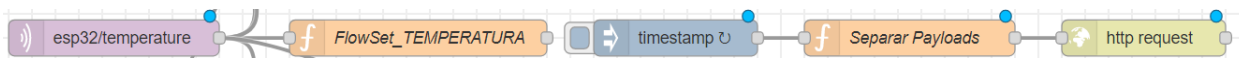


Figura 39. Flujo envío de datos a la nube

Para el caso de la temperatura como se puede observar en la figura 39 y para el resto de datos se ha realizado una función FlowSet, que permite crear una variable de flujo de la cual se puede



acceder posteriormente desde otro proceso. FlowSet está conectado con el nodo **mqtt in**; para el caso de METEO son las 7 variables.

El nodo **timestamp "inject"**, se utiliza para definir el tiempo de adquisición de datos, se ha configurado a dos minutos, ahora pasamos por la función "Separar Payloads" que llama la información de todas las variables de flujo creadas para luego enviarlas en conjunto. El código que se incorpora a este nodo se describe a continuación:

```
mensaje1 = flow.get("TEMPERATURA");
```

Se realiza un llamado a los flow.set creados con flow.get y se les asigna un nombre. Se obtiene el objeto msg compuesto por payload distintos y por último, el nodo http request, el cual es configurado con el método GET y se conecta con la URL de destino que contiene un formulario de Google Drive.

#### 9.2.3.1.5 Descargar Historial

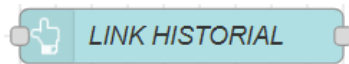


Figura 40. Nodo Button

Para descargar el historial se ha utilizado el nodo button que se muestra en la figura 40, en el ítem label se coloca el link al que se desea acceder, para el caso particular METEO se implementa el siguiente código:

```
<a target="_blank"href=" url ">DESCARGAR HISTORIAL</a>
```

Donde se encuentra "url" se reemplaza por el link de descarga que es generado con la aplicación G-Drive linker [37]. Para ello hay que generar una url para compartir hoja de cálculo de Google drive y este se introduce en la aplicación.

#### 9.2.3.1.6 Dashboard

Luego de describir cada una de las partes de la visión general de flujo se ejecuta Deploy para visualizar la Dashboard, por medio dirección <http://192.168.1.41:1880/ui> se puede acceder desde cualquier navegador que se encuentre conectado a la red local de la que hace parte la Raspberry pi 3. La figura 41 representa el panel de visualización generado:

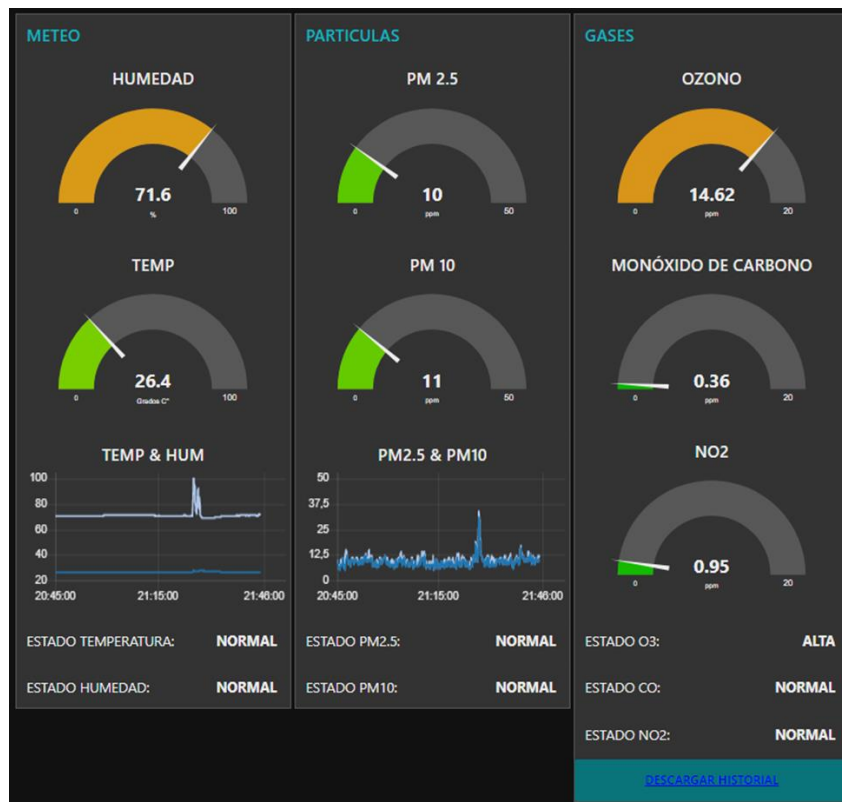


Figura 41. Dashboard METEO

### 9.2.4 Almacenamiento de datos en la nube

Par almacenar los datos en la nube se ha utilizado Google drive que brinda un espacio de almacenamiento gratuito brindando herramientas como hojas de cálculo y formularios que permiten ser utilizadas por aplicaciones que requieran servicios en línea. Los formatos admitidos son: .xls, .xlsx, .tsv o .csv.

La **estación de monitorización meteorológica remota** guarda en una hoja de cálculo los datos capturados por los sensores, como la temperatura, humedad, PM2.5, PM10, CO, O3 y NO2, además genera una etiqueta que contiene la fecha. Estos datos son guardados en “*formato hoja de cálculo de Google*”, con una frecuencia de dos minutos el cual fue programado en la Raspberry Pi y se visualiza con facilidad usando la herramienta Google Sheets tal como se muestra en la figura 42:



1	Marca temporal	TEMPERATURA	HUMEDAD	PM 2.5	PM 10	CO	O3	NO2
280	10/6/2022 21:36:39	27.4	61.2	15	15	0	0	0.47
281	10/6/2022 21:38:38	27.4	61	16	19	0	0	0.31
282	10/6/2022 21:40:39	27.4	61.6	12	14	0	0	0.37
283	10/6/2022 21:42:38	27.4	61.7	17	17	0	0	0.2
284	10/6/2022 21:44:38	27.4	61.7	15	16	0	0	0.32
285	10/6/2022 21:46:38	27.4	62	12	14	0	0	0.39
286	10/6/2022 21:48:38	27.4	61.9	20	22	0	0	0.37
287	10/6/2022 21:50:38	27.5	62	15	15	0	0	0.35
288	10/6/2022 21:52:38	27.5	62.2	20	20	0	0	0.36
289	10/6/2022 21:54:38	27.5	62.4	17	19	0	0	0.37
290	10/6/2022 21:56:38	27.5	61.7	16	18	0	0	0.27
291	10/6/2022 21:58:38	27.5	61.4	17	17	0	0	0.35
292	10/6/2022 22:00:38	27.5	61.5	15	17	0	0	0.6
293	10/6/2022 22:02:39	27.5	61.7	16	16	0	0	0.44
294	10/6/2022 22:04:38	27.6	61.8	17	17	0	0	0.23
295	10/6/2022 22:06:38	27.7	61.4	18	20	0	0	0.62

Figura 42. Base de datos Google drive

Esta información es obtenida por medio del llenado automático de un formulario de Google drive, el cual está compuesto por cada una de las variables que se observan en la Figura 43.

**ESTACIÓN CALIDAD DEL AIRE**

Descripción del formulario

---

**TEMPERATURA**

Texto de respuesta corta

---

**HUMEDAD**

Texto de respuesta corta

Figura 43. Formulario Google drive

De cada campo de texto que se encuentra como respuesta, se obtiene un código y se genera otro que permite realizar el llenado del formulario.

La URL del formulario, más el código de cada respuesta a la cual se le asigna el valor correspondiente a cada payload, este proviene del nodo función que contiene todos los datos (Véase Figura 44) [31].

**Edit http request node**

Delete Cancel Done

---

**Properties**

Method: GET

URL: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeXE

Figura 44. Configuración del Nodo http request



## 9.2.5 Página web pública METEO

La página web contiene la Dashboard e información relevante del proyecto, además se puede acceder a ella desde cualquier dispositivo de una forma amigable y responsive. Está desarrollada en WordPress [33], un sistema que está enfocado a la creación de cualquier tipo de página web en conjunto con el plugin Elementor.

### 9.2.5.1.1 Hosting y dominio

El hosting permite alojar la página web y el dominio es el nombre que traduce la dirección IP de cada activo en internet a términos más fáciles. Para el caso de METEO han sido adquiridos a través de la empresa Godaddy [32]. Se debe aprovisionar la cuenta, enlazando el hosting que tiene asignada la dirección IP 191.110.104.84 con el dominio <http://www.meteouma.com> dentro la configuración del DNS de la siguiente forma (Véase Figura 45):

Registros DNS

[Los Registros de DNS](#) definen cómo se comporta tu dominio, como mostrar el contenido de tu sitio web y entregar tu correo electrónico.

	Tipo	Nombre	Datos	TTL		
<input type="checkbox"/>	A	@	191.110.104.84	600 segundos	Eliminar	Editar

Figura 45. Direccionamiento IP

En el hosting se ha instalado la aplicación WordPress y dentro de ella el plugin Elementor como herramienta de desarrollo.

### 9.2.5.1.2 Página web desarrollada

La web consta de tres páginas las cuales se muestran en el menú principal:

- **¿Qué es METEO?:** Es la página de inicio, donde los usuarios al ingresar al dominio <http://www.meteouma.com> pueden comenzar a navegar; está compuesta por la fotografía, los componentes y la definición de METEO, como se puede observar en la figura 46.





Figura 46. Página de inicio ¿Qué es METEO?

- Monitoreo RT:** Se encuentra la Dashboard desarrollada con Node-Red, los indicadores de temperatura, humedad, partículas en suspensión PM10 y PM2.5, Ozono - O3, dióxido de azufre - SO2, dióxido de nitrógeno NO2 y el monóxido de carbono – CO, además indicadores de estado. La información proporcionada es en tiempo real (Véase Figura 47).

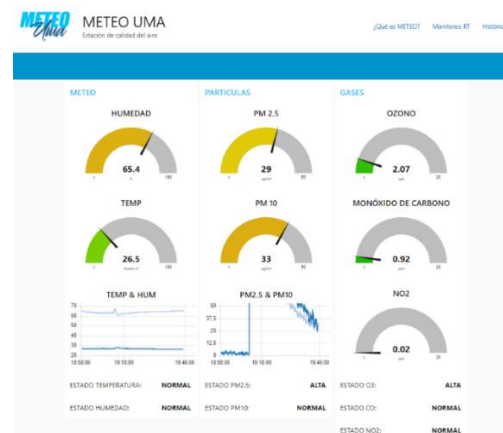


Figura 47. Dashboard de monitoreo RT

- Históricos:** Esta compuesta por un gráfico del histórico que contiene todas las variables, un histograma que muestra los promedios, la tabla que se está generando con los datos y el botón de descarga como se muestra en la figura 48. Esta página se actualiza automáticamente cada 4 minutos, esto se ha logrado gracias al plugin para wordpress “Auto Refresh Single Page” [34].



Figura 48. Página Históricos

## 10 Resultados

En este apartado se describen las pruebas realizadas a METEO, donde se puede determinar el funcionamiento de cada una de las partes que componen el sistema.

Las pruebas están basadas en satisfacer los objetivos planteados, el cumplimiento del plan de aceptación y verificación de requisitos.

### 10.1 Pruebas

Inicialmente se realizaron pruebas en un ambiente controlado y posteriormente en un ambiente real, de esta forma se obtienen datos que han permitido validar el funcionamiento de METEO en todos los aspectos: comunicación, captura, visualización, almacenamiento y análisis de la información de las variables en una zona urbana de la ciudad.

#### 10.1.1 Pruebas en ambiente controlado

Estas pruebas se han realizado en un recinto cerrado; ya que la finalidad de esta es comprobar que la comunicación sea correcta entre cada uno de los elementos de METEO.

##### 10.1.1.1 Comunicación entre dispositivos

En este apartado se realizaron las pruebas de comunicación entre la MOTA, el concentrador, la puerta de enlace y el servidor (Véase Figura 49).



Figura 49. Elementos de para pruebas internas de METEO

#### 10.1.1.1.1 Comunicación entre la MOTA y el concentrador:

Para probar la comunicación entre el nodo final y el concentrador se enciende la mota y el concentrador, debido a que cada uno de los dispositivos cuenta con una pantalla se puede observar la conexión establecida como se muestra en la figura 50:

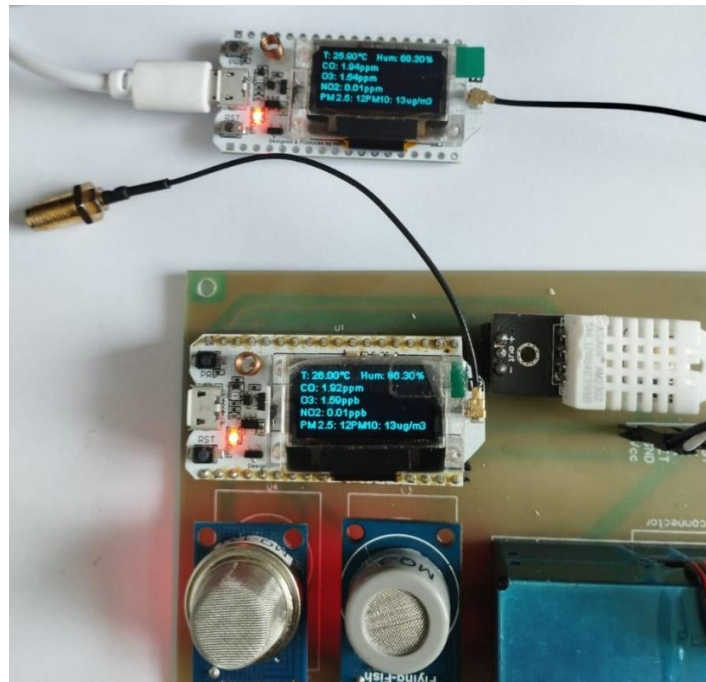


Figura 50. Prueba de conexión entre la MOTA y el concentrador

Existe una mínima diferencia entre los valores en décimas en el caso de la medición de los gases; esto se debe a que hay una mínima latencia en la comunicación LoRa en el rango de los milisegundos.

#### 10.1.1.1.2 Comunicación entre el concentrador y la puerta de enlace:

Se hace necesaria la visualización de los datos en la Dashboard por medio de la IP 192.168.1.41 con puerta de enlace 1880 que corresponde a la Raspberry Pi3. Se puede observar en la figura 51 que la comunicación esta correcta, pues se pueden visualizar los datos que recibe el concentrador del nodo final con respecto a los de la plataforma web.



Figura 51. Prueba de conexión entre la Puerta de enlace y el concentrador

#### 10.1.1.1.3 Prueba de visualización entre la MOTA y la Dashboard

En este apartado se puede visualizar en la Dashboard la información que proporciona la MOTA al sistema, se aprecia una pequeña latencia de milisegundos en la comunicación entre la MOTA, el concentrador y la puerta de enlace, esta diferencia es despreciable debido a las características de las variables y los requerimientos. Estos elementos se pueden apreciar en la figura 52.



Figura 52. Prueba de visualización de datos de la MOTA

#### 10.1.1.1.4 Prueba de visualización de datos en la plataforma web

Se ha utilizado un ordenador portátil y un móvil para realizar la conexión al dominio <http://www.meteouma.com>. Se observa que la página web es funcional al 100% y es autoadaptable “Responsive” a cualquier dispositivo según el tamaño de su pantalla como se ha

demostrado en la figura 53.

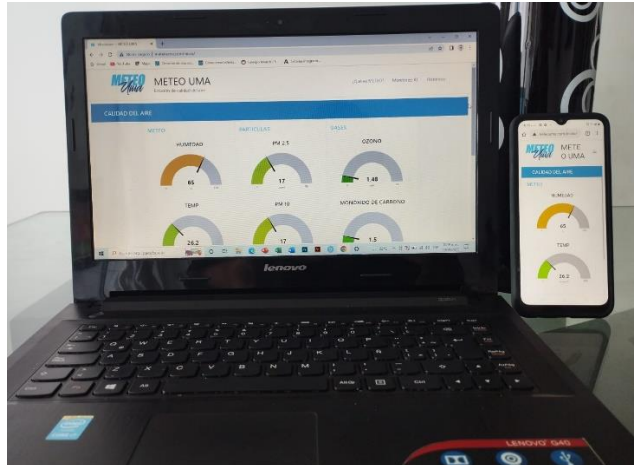


Figura 53. Prueba de visualización Plataforma web

#### 10.1.1.1.5 Prueba de visualización de datos entre la red local y el internet:

Esta prueba se ha llevado a cabo realizando la visualización de datos desde la Raspberry Pi y desde el servidor. Se observa que no existe latencia y que los datos corresponden de forma precisa según la figura 54:

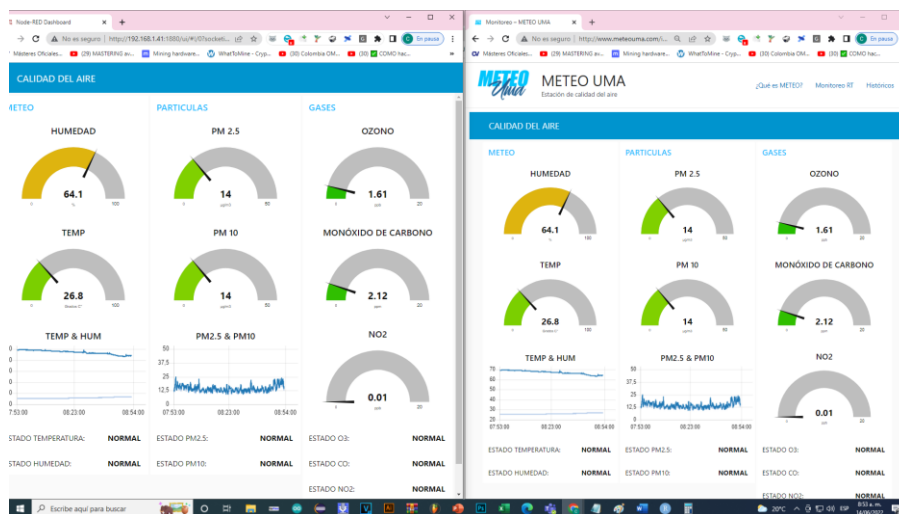


Figura 54. Prueba de visualización Plataforma web y Dashboard local

#### 10.1.2 Prueba en ambiente real

Para realizar las pruebas, la MOTA o nodo final se ha ubicado en las coordenadas (Latitud



7.003074; Longitud -73.055208; Altitud 1034.1864 m) y el concentrador (Latitud 7.003319; Longitud -73.054177; Altitud 1035.1008m), garantizando siempre la línea de vista con el fin de evitar pérdidas de señal, en la imagen satelital de la figura 55 se puede apreciar. Esta prueba se realiza en un ambiente urbano y se pone en marcha el sistema durante aproximadamente una hora desde las 6:34:59 a.m. hasta las 7:36:59 a.m.



Figura 55. Ubicación de la Mota y el concentrador

### 10.1.3 Comunicación Lora

La distancia a la que se ha sometido esta prueba entre la mota y el nodo concentrador es de 102.56 metros, medida calculada con Google Earth con las coordenadas correspondientes. La comunicación Lora se ha establecido de forma exitosa, se han podido observar los datos en la Dashboard a través de un móvil según la figura 56.



Figura 56. Medición en tiempo real de la prueba



Esta medida fue tomada desde la aplicación web es el sitio donde estaba ubicada la MOTA a las 7:33 AM, se observa claramente que realiza las correspondientes lecturas. En la tabla 33 de mediciones de la prueba se relaciona con la medición de las 7:32:59 a.m. que son 26,3°C y 68,4% y tienen una gran aproximación con respecto a los horarios de la captura de pantalla de la interfaz y los datos obtenidos.

## 10.2 Almacenamiento de datos

EL almacenamiento de datos se ha realizado con éxito y se ha comprobado que los datos visualizados en la MOTA corresponden a los guardados en la nube para cada una de las variables. En la tabla 33 se relaciona la información almacenada durante un rango de tiempo con una frecuencia de dos minutos:

HORA	TEMP °C	HUM %	PM 2.5 µg/m <sup>3</sup>	PM 10 µg/m <sup>3</sup>	CO PPM	O3 PPB	NO2 PPB
6:34:59 a. m.	21,6	89	25	25	1,12	1,4	0,01
6:36:59 a. m.	21	91,8	26	26	1,14	1,32	0,01
6:38:59 a. m.	20,9	92,4	23	25	1,13	1,43	0,01
6:40:59 a. m.	21,1	92,5	20	20	1,23	1,38	0,01
6:42:59 a. m.	21,2	92,4	21	21	1,47	1,4	0,01
6:44:59 a. m.	21,3	91,8	24	24	1,59	1,38	0,01
6:46:59 a. m.	21,3	91,9	23	25	1,25	1,4	0,01
6:48:59 a. m.	21,5	91,8	26	29	1,2	1,46	0,01
6:50:59 a. m.	21,8	91,5	22	22	1,12	1,5	0,01
6:52:59 a. m.	22,2	90,5	29	36	1,2	1,58	0,01
6:54:59 a. m.	22,8	87,2	28	33	1,25	1,41	0,01
6:56:59 a. m.	22,9	85,1	24	25	1,27	1,25	0,01
6:58:59 a. m.	22,7	87,3	23	26	1,03	1,36	0,01
7:00:59 a. m.	22,5	86,8	22	24	1,42	1,38	0,01
7:02:59 a. m.	22,1	86,9	23	24	1,49	1,36	0,01
7:04:59 a. m.	22,1	88,5	19	19	1,46	1,43	0,01
7:06:59 a. m.	22	90,3	19	20	1,2	1,29	0,01
7:08:59 a. m.	22,6	89,9	17	19	1,25	1,25	0,01
7:10:59 a. m.	22,8	87,3	17	18	1,22	1,41	0,01
7:12:59 a. m.	23	87,5	17	17	1,34	1,27	0,01
7:14:59 a. m.	23	83,9	18	18	1,23	1,38	0,01
7:16:59 a. m.	23,9	82,3	16	19	1,23	1,27	0,01
7:18:59 a. m.	24,1	79,4	15	15	1,16	1,41	0,01
7:20:59 a. m.	24,9	73,2	15	15	1,16	1,41	0,01
7:22:59 a. m.	25,3	70,7	15	16	1,47	1,43	0,01
7:24:59 a. m.	25,8	68,4	15	17	1,28	1,33	0,01
7:26:59 a. m.	26,1	69,6	17	18	0,81	1,4	0,01





7:28:59 a. m.	26,6	65,6	19	21	1,21	1,46	0,01
7:30:59 a. m.	26,6	67,7	20	25	1,22	1,57	0,01
7:32:59 a. m.	26,3	68,4	16	19	1,51	1,4	0,01
7:34:59 a. m.	26,6	67,8	19	23	1,27	1,4	0,01
7:36:59 a. m.	26,7	69,1	20	23	1,87	1,41	0,01

Tabla 33. Datos generados en la prueba de ambiente urbano

Esta información esta consignada en la hoja de cálculo creada en Google Drive, el cual brinda este servicio de forma gratuita.

### 10.2.1 Análisis de datos

La prueba se realizó en un ambiente húmedo debido a que estaba lloviendo minutos antes. Se han tomado en cuenta las variables más importantes que son el material particulado PM2.5, PM10, temperatura y humedad para realizar el análisis. Los sensores utilizados en METEO para medir esas magnitudes son digitales y vienen calibrados de fábrica. A continuación, se representan los datos obtenidos en las figuras 57 y 59:

#### 10.2.1.1.1 PM 2.5 y PM10

La figura 57 representa el comportamiento del material particulado en la zona urbana establecida. A las 6:52:59 a. m. se representa el pico máximo de contaminación, según se observa el PM2.5 con un máximo de 29  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y PM10 con máximo de 36; esto se debe a que a las 7:00 am la mayoría de empresas y colegios inician actividades y se refleja en el aumento del tráfico vehicular, luego la gráfica desciende hasta su mínimo que es 15 para ambas variables a las 7:18:59 a. m.

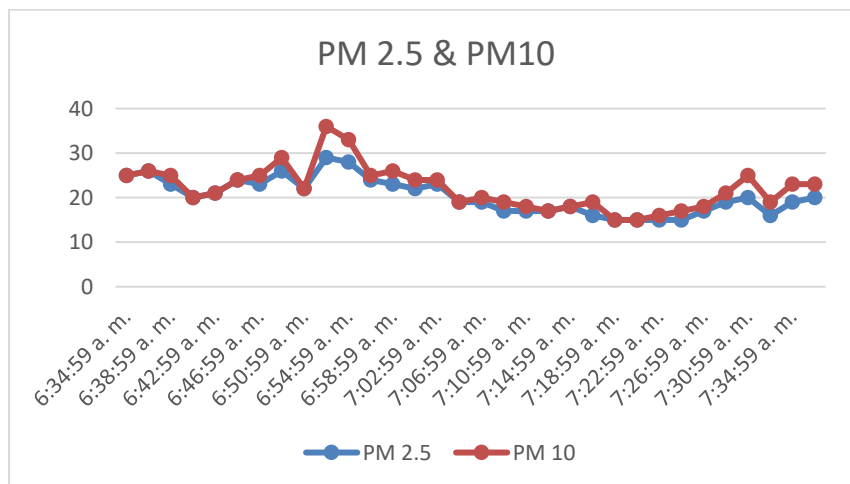


Figura 57. Gráfico de PM 2.5 & PM10 Vs Tiempo



### 10.2.1.1.2 Temperatura y humedad

Se ha dado inicio a la prueba en un ambiente húmedo dando un máximo de 92,5% a las 6:40:59 a. m. Información que es aproximada a los datos meteorológicos mostrados en la figura 58 por “the weather Channel” <https://weather.com/>, en ese momento la temperatura era de 21.1 °C según los datos registrados en la tabla 33.



Figura 58. Datos meteorológicos

Observando la Figura 59 se puede apreciar como la humedad baja a medida que transcurre el tiempo, llegando a un mínimo de 65,6%; esto se debe al aumento de temperatura que se presenta por la ausencia de nubosidad.

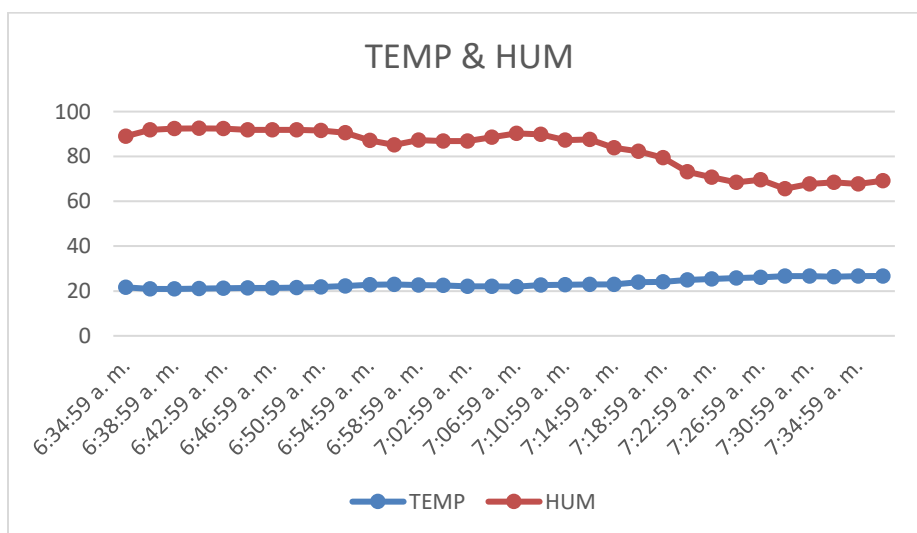


Figura 59. Gráfico de temperatura y humedad relativa Vs Tiempo



Con la información proporcionada se puede afirmar que el sistema está funcionando correctamente, conforme a lo planeado.

### 10.2.2 Alertas

Se ha puesto el límite establecido para PM2.5 de máximo 25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  según las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS). La humedad se ha puesto arbitrariamente con un máximo de 80% para determinar que el ambiente está muy húmedo.

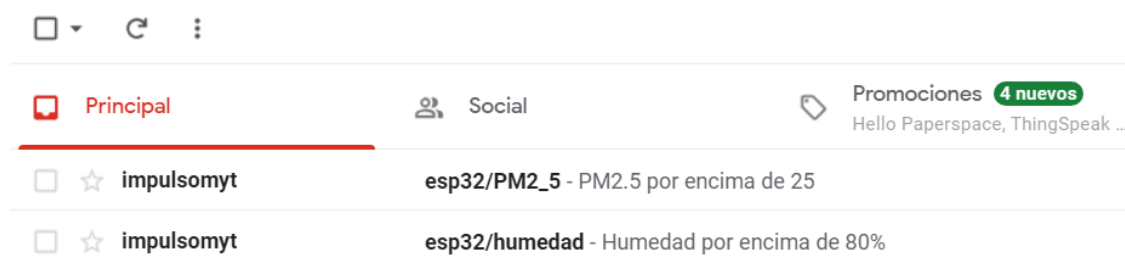


Figura 60. Prueba de alertas

Se puede observar en la Figura 60 que llegaron las alertas al correo electrónico correspondientes de los valores que superaron el umbral, lo que indica, que las notificaciones funcionan correctamente. Las demás alertas no se activaron debido a que sus valores no superaron los límites establecidos.



## 11 Conclusiones

### 11.1 Conclusiones generales

Se ha desarrollado la estación de monitorización meteorológica y de calidad del aire “METEO” cumpliendo con todos los requisitos y objetivos planteados en el proyecto, logrando así la captura, visualización y almacenamiento de las variables PM10, PM2.5, O3, NO2, CO, temperatura y humedad.

En cuanto a la tecnología inalámbrica LoRa implementada, permite que la mota o nodo final se pueda ubicar en sitios donde no se cuenta con conexión a internet sin ningún inconveniente; como se ha podido demostrar en la prueba realizada, no se presenta pérdida de información si se cuenta con línea de vista entre el nodo final y el concentrador.

En general los dispositivos utilizados en la construcción de METEO son de bajo coste y las herramientas de desarrollo, servicios en la nube utilizados a excepción del dominio meteouma.com son gratuitos, de esta forma se obtiene un gran beneficio en cuanto a escalabilidad y costes del proyecto, permitiendo su implementación en zonas económicamente deprimidas.

La visualización de los datos meteorológicos y de calidad del aire en la página web es adaptable a cualquier dispositivo, le brinda al usuario una mejor experiencia de navegación.

Teniendo en cuenta que los sensores utilizados son de bajo coste, se ha podido demostrar que, con la calibración correcta se obtienen resultados aceptables dentro de un rango determinado, permitiendo tener una noción aproximada de los niveles de contaminación del aire.

### 11.2 Mejoras y líneas futuras

El producto final desarrollado cumple con los requerimientos del proyecto, sin embargo, sería interesante cambiar los sensores de gases MQ por sensores electroquímicos Alphasense [35] que brindan un menor consumo energético y una mayor precisión; no se implementaron en **METEO** debido a su alto coste.

Implementar una caja o chasis con materiales adecuados, impermeable que soporte altas temperaturas sin desprender gases en los que se pueda ver comprometida la correcta medición de los sensores.

Estación de monitorización meteorológica remota



Realizar una calibración más profunda en un laboratorio que cuente con dispositivos especializados de medición y patrones para los diferentes parámetros que se desean medir.



## 12 Referencias

A continuación, se muestran las fuentes de consulta utilizadas para el desarrollo de METEO.

- [1] Las nuevas Directrices mundiales de la OMS sobre la calidad del aire.  
<https://www.who.int/es/news/item/22-09-2021-new-who-global-air-quality-guidelines-aim-to-save-millions-of-lives-from-air-pollution>
- [2] Figura 1 - Esquema METEO [1]:  
Tienda virtual de Didácticas electrónicas I+D  
<https://www.didacticaselectronicas.com/>
- [3] Sistema de monitorización de calidad del aire y estación meteorológica  
<http://www.induanalysis.com/>
- [4] Tarjeta de desarrollo Wi-Fi LoRa 32 (V2.1):  
<https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>
- [5] Sensor PMS5003:  
<https://uelectronics.com/producto/pms5003-sensor-de-calidad-de-aire-pm2-5/>
- [6] Sensor DHT22:  
<https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/temperatura/sensor-de-temp-y-hum-am2302-dht22-con-cable-dht-22-02-sensor-sensores-de-temperatura-y-humedad-y-temperatura-am2302-dht22-detail>
- [7] Sensor MQ131:  
<https://www.didacticaselectronicas.com/index.php/sensores/gases/sensor-de-ozono-mq131-gas-sen-ozono-2-sensor-sensores-de-gas-gases-ozono-mq131-mq-131-detail>
- [8] Sensor MQ7:  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>
- [9] Controlador de carga para panel solar Adafruit BQ24074  
<https://www.adafruit.com/product/4755>
- [10] Módulo elevador de voltaje XL6009:  
<https://uelectronics.com/producto/xl6009-elevador-de-voltaje-boost-step-up-10w-3a/>



[11] Figura 15 - Panel Solar GLD-625

<https://www.amazon.com/-/es/respetuoso-ambiente-fotovoltaico-generaci%C3%B3n-polisilicio/dp/B08ZCD1PWH>

[12] Batería LiPo JOY1165113:

<https://www.joybattery.net/sale-9707689-3-7v-1165113-10000mah-lipo-battery-for-power-bank-1165113-3-7v-10ah-polymer-battery-pack-with-pcb.html>

[13] EasyEDA:

<https://easyeda.com/es>

[14] Caja PVC:

<https://www.easy.com.co/p/caja-paso-15-cm-x-15-cm-x-11-cm-blanco/>

[15] Raspberry Pi 3 Model B:

<https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-3-model-b/>

[16] Arduino:

<https://www.arduino.cc/>

[17] Figura 23 - Características de sensibilidad del MQ-7:

<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Biometric/MQ-7.pdf>

[18] WebPlotDigitizer:

<https://automeris.io/WebPlotDigitizer/>

[19] Figura 24. - Representación función logarítmica:

[https://es.wikipedia.org/wiki/Representaci%C3%B3n\\_logar%C3%ADtmica](https://es.wikipedia.org/wiki/Representaci%C3%B3n_logar%C3%ADtmica)

[20] Calibración de los módulos MQ:

[https://naylampmechatronics.com/blog/42\\_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html](https://naylampmechatronics.com/blog/42_tutorial-sensores-de-gas-mq2-mq3-mq7-y-mq135.html)

[21] How to Use the MQ-7 Carbon Monoxide Sensor:

<https://www.teachmicro.com/use-mq-7-carbon-monoxide-sensor/>

[22] Características de sensibilidad del MQ-131:

[http://www.datasheet.es/PDF/770516/MQ131-pdf.html#google\\_vignette](http://www.datasheet.es/PDF/770516/MQ131-pdf.html#google_vignette)



[23] LPG Sensor with MQ-6 and Arduino:

<https://www.teachmemicro.com/lpg-sensor-mq-6-arduino/>

[24] PMS Library:

<https://github.com/fu-hsi/PMS>

[25] Getting temperature and humidity with a DHT22 sensor:

<https://www.dfrobot.com/blog-1005.html>

[26] How to use LoRa to send and receive sensor readings:

[https://www.ambientesoluciones.com/sitio/productos\\_mo\\_tienda.php?it=5164](https://www.ambientesoluciones.com/sitio/productos_mo_tienda.php?it=5164)

[27] Guía de introducción a MQTT con ESP8266 y Raspberry Pi:

<https://programarfacil.com/esp8266/mqtt-esp8266-raspberry-pi/>

[28] Operating system Raspberry Pi OS:

<https://www.raspberrypi.com/software/operating-systems/>

[29] Node-Red:

<https://nodered.org/>

[30] Node-RED nodes to send and receive simple emails:

<https://flows.nodered.org/node/node-red-node-email>

[31] "IOT Siemens, Datalogger con Google Drive, mediante NodeRed."

<https://www.patreon.com/jesuscorreaperu>

<https://www.youtube.com/watch?v=Fl4yYvCMNcl&t=362s>

[32] Godaddy:

<https://www.godaddy.com/es>

[33] Wordpress:

<https://wordpress.org/>

[34] Auto Refresh Single Page:

<https://wordpress.org/plugins/auto-refresh-single-page/#installation>

[35] Alphasense:

<https://www.alphasense.com/>



Estación de monitorización meteorológica remota



[36] Detección de gases peligrosos con sensores MQ:

<https://blog.330ohms.com/2020/10/23/deteccion-de-gases-peligrosos-con-sensores-mq/>

[37] G-Drive Linker:

<https://www.graytechnical.com/g-drive-linker/>



## 13 Glosario de figuras y tablas

### 13.1 Figuras

Figura 1. Esquema METEO [2] .....	11
Figura 2. Diagrama general de requisitos.....	17
Figura 3. Diagrama general de casos de uso.....	27
Figura 4. Arquitectura lógica .....	34
Figura 5. Arquitectura física .....	35
Figura 6. Esquema del hardware .....	38
Figura 7. Nodo Final implementado .....	39
Figura 8. Wi-Fi LoRa 32 (V2.1) .....	39
Figura 9. Sensor de polvo y material particulado PMS5003 .....	40
Figura 10. Sensor de temperatura y humedad. AM2302/DHT22.....	41
Figura 11. Sensor MQ131 .....	41
Figura 12. Sensor MQ7.....	42
Figura 13. Controlador de carga para panel solar BQ24074 .....	42
Figura 14. Módulo elevador de voltaje XI6009 .....	43
Figura 15. Panel Solar GLD-625 .....	44
Figura 16. Batería LiPo JOY1165113.....	44
Figura 17. Circuito Nodo final.....	45
Figura 18. Caja de PVC .....	45
Figura 19. Raspberry Pi 3 Model B .....	46
Figura 20. Software del Nodo final .....	48
Figura 21. Características de sensibilidad del MQ-7 [17] .....	49
Figura 22. Representación función logarítmica [19] .....	50
Figura 23. Sensibilidad CO .....	51
Figura 24. Características de sensibilidad del MQ-131 [22] .....	51
Figura 25. Sensibilidad del NO2.....	52
Figura 26. Sensibilidad del O3 .....	53
Figura 27. Software del Concentrador.....	55
Figura 28. Software de la puerta de enlace.....	56
Figura 29. Visión general del flujo .....	57
Figura 30. Nodo mqtt in.....	58
Figura 31. Configuración mqtt in .....	58
Figura 32. Nodo gauge .....	58



Figura 33. Indicador de temperatura .....	58
Figura 34. Nodo chart .....	58
Figura 35. Plot de PM2.5 y PM10.....	59
Figura 36. Flujo envío de E-Mail .....	59
Figura 37. Configuración del nodo email.....	60
Figura 38. Mensajes de alerta.....	60
Figura 39. Flujo envío de datos a la nube.....	60
Figura 40. Nodo Button .....	61
Figura 41. Dashboard METEO.....	62
Figura 42. Base de datos Google drive .....	63
Figura 43. Formulario Google drive.....	63
Figura 44. Configuración del Nodo http request .....	63
Figura 45. Direccionamiento IP .....	64
Figura 46. Página de inicio ¿Qué es METEO?.....	65
Figura 47. Dashboard de monitoreo RT .....	65
Figura 48. Página Históricos .....	66
Figura 49. Elementos de para pruebas internas de METEO .....	67
Figura 50. Prueba de conexión entre la MOTA y el concentrador .....	68
Figura 51. Prueba de conexión entre la Puerta de enlace y el concentrador .....	69
Figura 52. Prueba de visualización de datos de la Motta.....	69
Figura 53. Prueba de visualización Plataforma web.....	70
Figura 54. Prueba de visualización Plataforma web y Dashboard local.....	70
Figura 55. Ubicación de la Mota y el concentrador.....	71
Figura 56. Medición en tiempo real de la prueba.....	71
Figura 57. Gráfico de PM 2.5 & PM10 Vs Tiempo.....	73
Figura 58. Datos meteorológicos.....	74
Figura 59. Gráfico de temperatura y humedad relativa Vs Tiempo.....	74
Figura 60. Prueba de alertas.....	75

## 13.2 Tablas

Tabla 1. Descripción del problema.....	13
Tabla 2. Descripción del producto.....	13
Tabla 3. Resumen de los participantes .....	14
Tabla 4. Resumen y entorno de los usuarios .....	14
Tabla 5. Perfil jefe de la empresa.....	15



Tabla 6. Perfil jefe de Proyecto .....	15
Tabla 7. Perfil desarrollador .....	16
Tabla 8. Precedencia y prioridad.....	18
Tabla 9. Lectura de temperatura .....	21
Tabla 10. Lectura de humedad .....	22
Tabla 11. Lectura del dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) .....	22
Tabla 12. Lectura el Ozono troposférico (O <sub>3</sub> ) .....	23
Tabla 13. Lectura del monóxido de carbono .....	24
Tabla 14. Lectura de las partículas en suspensión (PM <sub>10</sub> ) .....	24
Tabla 15. Lectura de las partículas en suspensión (PM <sub>2,5</sub> ) .....	25
Tabla 16. Prueba: Almacenaje .....	25
Tabla 17. Prueba: Histórico.....	26
Tabla 18. Actores del sistema .....	27
Tabla 19. Participantes y Objetivos / Medir valores ambientales .....	28
Tabla 20. Participantes y Objetivos / Mostrar los valores ambientales .....	29
Tabla 21. Participantes y Objetivos / Guardar Histórico .....	30
Tabla 22. Participantes y Objetivos / Descargar histórico.....	31
Tabla 23. Plan de aceptación.....	32
Tabla 24. Prueba lectura sensores.....	32
Tabla 25. Prueba Comprobar almacenamiento de datos históricos.....	33
Tabla 26. Prueba descargar datos históricos .....	33
Tabla 27. Costos de los materiales .....	47
Tabla 28. Sensibilidad en el aire MQ7.....	49
Tabla 29. Sensibilidad CO .....	49
Tabla 30. Sensibilidad del NO <sub>2</sub> .....	52
Tabla 31. Sensibilidad del O <sub>3</sub> .....	53
Tabla 32. Sensibilidad del Aire del MQ131.....	53
Tabla 33. Datos generados en la prueba de ambiente urbano .....	73



## 14 Apéndice

En este apartado se describe el contenido adjunto a la presente memoria, el cual está disponible en la siguiente dirección:

<https://drive.google.com/drive/folders/14WA8q9lyIX37Alpj5igTZPbLCcBSWhGy?usp=sharing>

- 1 - Carpeta: "Diagramas Papyrus"
- 2 - Carpeta: "Diseño PCB (GERBER)"
- 3 - Carpeta: "Códigos para Calibración Mq7 y MQ131"
- 4 - Memoria en PDF: "METEO.pdf"
- 5 - Memoria en Word: "METEO.docx"