



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN  
TELECOMUNICACIONES**

**TESIS**

Diseño e implementación de un dispositivo de Internet de las cosas para la medición y monitoreo de la calidad de aire en zonas urbanas

**PRESENTADO POR**

Medina de la Cruz, Martha Rebeca

**ASESOR**

Soto Córdova, Martin Moises

**Los Olivos, 2020**

## **Dedicatoria**

A mi esfuerzo y perseverancia,  
para conseguir mis logros y  
sueños.

A mi hermano por ser mi gran  
motivo de vida.

De igual manera; se lo dedico a  
la memoria de quienes en vida  
fueron mi abuela Martha y mi  
papá Martín, por siempre haber  
confiado en mí hasta sus últimos  
momentos de vida.

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por cada uno de mis momentos vividos y los logros obtenidos.

De igual manera agradezco a mi familia, por haberme brindado el apoyo a lo largo de mi carrera profesional.

## Resumen

La contaminación del aire es un riesgo para la salud humana, ocasiona enfermedades y muertes en personas que diariamente están expuestas a la exposición de emisiones producidas principalmente en las zonas urbanas. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el 92% de personas en el mundo se encuentran respirando aire contaminado por las elevadas concentraciones de gases del efecto invernadero, contaminantes atmosféricos y partículas suspendidas en el aire  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ . A pesar del compromiso de muchos países por reducir esta situación las tasas de mortalidad, se han incrementado a 4.9 millones de personas en donde los más afectados son los niños menores de 5 años y los adultos mayores.

Las emisiones de los contaminantes, como el monóxido de carbono (CO), partículas en suspensión y otros compuestos, provienen principalmente de vehículos que transitan diariamente por las vías de circulación pública. Por otra parte; las emisiones industriales también juegan un rol contaminante, sobre todo para los pobladores de los alrededores, generando afecciones de salud y enfermedades respiratorias.

Ante este panorama; en la presente tesis se propone diseñar e implementar un dispositivo basado en Internet de las Cosas, cuya función es medir y monitorear la calidad del aire. Para ello; se utiliza el microcontrolador Arduino MKR1000, y el protocolo MQTT para la transferencia de datos a la nube y su almacenamiento en una base de datos de las concentraciones de gases de las zonas urbanas monitoreadas. Asimismo, brinda reportes y alertas en tiempo real a los usuarios con el fin de tomar medidas preventivas.

**Palabras claves-** Contaminación del aire, enfermedades, emisiones de los contaminantes, Internet de las Cosas, Arduino, medidas preventivas.

## **Abstract**

*Air pollution is a risk to human health, it causes diseases and deaths in people who are daily exposed to emissions produced mainly in urban areas. According to the World Health Organization (WHO), 92% of people in the world are breathing air polluted by high concentrations of greenhouse gases, atmospheric pollutants, and particles suspended in the air  $PM_{2.5}$  and  $PM_{10}$ . Despite the commitment of many countries to reduce this situation, mortality rates have increased to 4.9 million people, where the most affected are children under 5 years of age and the elderly.*

*Emissions of pollutants, such as carbon monoxide (CO), particulate matter, and other compounds, come mainly from vehicles that travel daily on public roads. On the other hand, industrial emissions also play a polluting role, especially for the surrounding residents, generating health conditions and respiratory diseases.*

*Against this background, in this thesis, it is proposed to design and implement a device based on the Internet of Things, whose function is to measure and monitor air quality. For this, the Arduino MKR1000 microcontroller is used, and the MQTT protocol for data transfer to the cloud and its storage in a database of gas concentrations in monitored urban areas. It also provides real-time reports and alerts to users to take preventive measures.*

**Keywords-** *Air pollution, diseases, polluting gases, Internet of Things, Arduino, preventive measures.*

## Contenido

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Lista de Figuras.....	x
Lista de Tablas.....	xiii
Introducción.....	1
<b>CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>5</b>
1.1.1. Planteamiento y descripción de la investigación.....	5
1.1.2. Formulación del problema.....	6
1.1.3. Formulación de los problemas específicos.....	6
<b>1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS.....</b>	<b>6</b>
1.2.1. Objetivo general.....	6
1.2.2. Objetivos específicos.....	6
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>7</b>
1.3.1. Justificación Técnica.....	7
1.3.2. Justificación económica.....	7
1.3.3. Justificación social.....	8
<b>1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES.....</b>	<b>8</b>
1.4.1. Alcances.....	8
1.4.2. Limitaciones.....	9
<b>CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
<b>2.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>11</b>
2.1.1. Internacionales.....	11

2.1.2.	Nacionales .....	13
2.2.	MARCO TEÓRICO .....	16
2.2.1.	Contaminación del aire en zonas urbanas.....	16
2.2.2.	Impacto en la salud humana .....	19
2.2.3.	Índice de Calidad del Aire (INCA) .....	21
2.2.4.	Internet de las Cosas .....	24
2.2.5.	Protocolo de comunicación MQTT .....	26
2.2.6.	Microcontrolador Arduino .....	28
2.2.7.	Sensor electroquímico.....	31
2.2.8.	Sensor para medir la temperatura y humedad .....	34
2.2.9.	Sensor para medir las partículas en suspensión .....	35
2.2.10.	Servicio en la Nube .....	36
CAPÍTULO III:	DESARROLLO DEL DISPOSITIVO DE IOT .....	41
3.1.	DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS DE MEDICIÓN Y MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS URBANAS A NIVEL NACIONAL.....	42
3.1.1.	Equipamiento de monitoreo de la calidad de aire .....	43
3.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS E INTERNET DE LAS COSAS. ....	45
3.2.1.	Caracterización de los sensores electroquímicos.....	45
3.2.2.	Caracterización del sensor de partículas.....	57
3.3.	DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE DISPOSITIVO DE INTERNET DE LAS COSAS. ....	60
3.3.1.	Adquisición de datos .....	60
3.3.2.	Procesamiento de datos .....	61
3.3.3.	Envío de datos a la nube .....	61
3.3.4.	Visualización y monitoreo .....	61
3.3.5.	Alertas .....	61
3.3.6.	Análisis de Datos.....	62

<b>3.4. DISEÑO DEL DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN Y MONITOREO EN ZONAS URBANAS.....</b>	<b>63</b>
3.4.1. Especificaciones técnicas del dispositivo.....	63
3.4.2. Interconexión de los sensores electroquímicos.....	65
3.4.3. Interconexión del sensor de partículas en suspensión.....	66
3.4.4. Interconexión del sensor de temperatura y humedad.....	68
3.4.5. Diseño del circuito del dispositivo.....	70
3.4.6. Diseño de la estructura del dispositivo.....	72
3.4.7. Diseño del sistema de alertas.....	75
3.4.8. Diseño lógico del dispositivo.....	75
<b>3.5. IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO DE INTERNET DE LAS COSAS.....</b>	<b>79</b>
3.5.1. Implementación de la placa PCB.....	79
3.5.2. Incorporación de los sensores MQ.....	79
3.5.3. Incorporación de los elementos climatológicos.....	80
3.5.4. Incorporación de componentes electrónicos.....	80
3.5.5. Incorporación sistema de alertas.....	81
3.5.6. Incorporación en chasis.....	81
3.5.7. Pruebas de conexión.....	82
<b>3.6. MONITOREO EN TIEMPO REAL UTILIZANDO EL DISPOSITIVO DE INTERNET DE LAS COSAS.....</b>	<b>84</b>
3.6.1. Plataforma.....	84
3.6.2. Herramientas de visualización.....	84
3.6.3. Configuración de alertas.....	87
3.6.4. Calidad de servicio en MQTT.....	87
3.6.5. Procedimiento para el funcionamiento.....	88
3.6.6. Análisis de funcionamiento del dispositivo.....	88
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS.....</b>	<b>98</b>

<b>4.1. ANÁLISIS DE COSTOS .....</b>	<b>99</b>
<b>4.1.1. Recursos Humanos .....</b>	<b>99</b>
<b>4.1.2. Recursos Materiales.....</b>	<b>99</b>
<b>4.1.3. Recursos Software .....</b>	<b>100</b>
<b>4.1.4. Otros gastos.....</b>	<b>100</b>
<b>4.2. ANÁLISIS DE BENEFICIOS .....</b>	<b>101</b>
<b>4.2.1. Beneficios Tangibles.....</b>	<b>101</b>
<b>4.2.2. Beneficios Intangibles .....</b>	<b>102</b>
<b>4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD.....</b>	<b>103</b>
<b>4.3.1. Desarrollo del flujo de caja .....</b>	<b>103</b>
<b>4.3.2. Análisis de VAN .....</b>	<b>104</b>
<b>4.3.3. Análisis de TIR .....</b>	<b>105</b>
<b>Conclusiones.....</b>	<b>106</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>107</b>
<b>Glosario .....</b>	<b>108</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>109</b>
<b>Anexos.....</b>	<b>116</b>
<b>Anexo A: Hoja técnica de los componentes electrónicos .....</b>	<b>117</b>
<b>Anexo B: Código de programación.....</b>	<b>124</b>
<b>Anexo C: Publicaciones realizadas.....</b>	<b>128</b>
<b>Anexo D: Diagrama de Gantt del proyecto.....</b>	<b>130</b>
<b>Anexo E: Matriz de Investigación .....</b>	<b>131</b>
<b>Anexo F: Estadística de casos.....</b>	<b>132</b>

## Lista de Figuras

Figura 1. Causa-efecto de la contaminación en zonas urbanas. ....	16
Figura 2. Partículas en suspensión del aire. ....	18
Figura 3. Impacto en la salud humana. ....	20
Figura 4. Casos de muertes por contaminación. ....	20
Figura 5. Calificación INCA. ....	21
Figura 6. Arquitectura del Internet de las Cosas. ....	25
Figura 7. Trama del protocolo de comunicación MQTT. ....	26
Figura 8: Flujo de información de MQTT. ....	27
Figura 9. Características del microcontrolador. ....	28
Figura 10. Estructura del Arduino. ....	30
Figura 11. Sensores electroquímicos. ....	31
Figura 12. Sensor DHT21 ....	35
Figura 13. Sensor para la medición de partículas en suspensión. ....	35
Figura 14. Servicio Web en la nube. ....	36
Figura 15. Arquitectura del dispositivo de Internet de las Cosas. ....	40
Figura 16. Equipo muestreador de partículas en suspensión. ....	43
Figura 17. Equipo de medición PCE-PQC-21EU. ....	44
Figura 18. Equipo Air Meter Fluke 975. ....	45
Figura 19. Proceso de calibración del sensor electroquímico. ....	45
Figura 20. Curva de sensibilidad sensor MQ-2. ....	46
Figura 21. Calibración del sensor MQ-2. ....	47
Figura 22. Función potencial del sensor MQ-2. ....	48
Figura 23. Curva de sensibilidad MQ-4. ....	49
Figura 24. Calibración del sensor MQ-4. ....	50
Figura 25. Ecuación de la función potencial para el sensor MQ-4 ....	51
Figura 26. Curva de sensibilidad MQ-9. ....	52
Figura 27. Calibración del sensor MQ-9. ....	53
Figura 28. Función potencial para el sensor MQ-9. ....	53
Figura 29. Curva de sensibilidad MQ-135. ....	54
Figura 30. Calibración del sensor MQ-135. ....	55
Figura 31. Función potencial para el sensor MQ-135. ....	56
Figura 32. Voltaje de Salida vs. Densidad del polvo. ....	57

<b>Figura 33. Puntos de data del sensor. ....</b>	<b>58</b>
<b>Figura 34. Función Lineal. ....</b>	<b>59</b>
<b>Figura 35. Diagrama de bloques del dispositivo de IoT. ....</b>	<b>60</b>
<b>Figura 36. Adquisición de datos. ....</b>	<b>61</b>
<b>Figura 37. Circuito de conexión de los sensores MQ con Arduino. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 38. Conexión de los sensores MQ – Arduino MKR1000. ....</b>	<b>66</b>
<b>Figura 39. Circuito de conexión del sensor con Arduino. ....</b>	<b>67</b>
<b>Figura 40. Conexión del sensor y el Arduino MKR1000. ....</b>	<b>68</b>
<b>Figura 41. Circuito de conexión del sensor DHT21 con Arduino. ....</b>	<b>69</b>
<b>Figura 42. Conexión sensor DHT21 con el Arduino. ....</b>	<b>70</b>
<b>Figura 43. Diseño electrónico del dispositivo de IoT. ....</b>	<b>71</b>
<b>Figura 44. Diagrama del circuito electrónico. ....</b>	<b>72</b>
<b>Figura 45. Dimensiones del chasis. ....</b>	<b>73</b>
<b>Figura 46. Posicionamiento de sensores. ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 47. Diseño de la estructura del dispositivo. ....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 48. Diseño del sistema de alerta del dispositivo. ....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 49. Diagrama de flujo del funcionamiento. ....</b>	<b>76</b>
<b>Figura 50. Divisor de voltaje del sensor MQ. ....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 51. Diagrama de bloques de la implementación. ....</b>	<b>79</b>
<b>Figura 52. Adaptación de los sensores MQ. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 53. Adaptación de los sensores DHT21. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 54. Implementación de sensores. ....</b>	<b>80</b>
<b>Figura 55. Implementación de la placa. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 56. Adaptación del chasis. ....</b>	<b>81</b>
<b>Figura 57. Dispositivo de Internet de las Cosas. ....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 58. Implementación del sistema de monitoreo. ....</b>	<b>84</b>
<b>Figura 59. Plataforma de visualización. ....</b>	<b>86</b>
<b>Figura 60. Configuración de alertas. ....</b>	<b>87</b>
<b>Figura 61. Ubicación de la toma de muestras I. ....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 62. Fotografías de la toma de muestras en puente Acho. ....</b>	<b>89</b>
<b>Figura 63. Toma de muestras en el puente Acho I. ....</b>	<b>90</b>
<b>Figura 64. Toma de muestras en el puente Acho II. ....</b>	<b>91</b>
<b>Figura 65. Ubicación de la toma de muestras II. ....</b>	<b>92</b>
<b>Figura 66. Fotografías de la toma de muestras en la avenida Abancay. ...</b>	<b>92</b>

<b>Figura 67. Toma de muestras en la avenida Abancay I.....</b>	<b>93</b>
<b>Figura 68. Toma de muestras en la avenida Abancay II.....</b>	<b>94</b>
<b>Figura 69. Ubicación de la toma de muestras III. ....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 70. Toma de muestras en Parque Industrial I.....</b>	<b>96</b>
<b>Figura 71. Toma de muestras en Parque Industrial II.....</b>	<b>97</b>
<b>Figura 72. Flujo de caja.....</b>	<b>104</b>

## Lista de Tablas

Tabla 1. Calificación INCA y las recomendaciones. ....	22
Tabla 2. Calificación INCA y los intervalos para el CO.....	22
Tabla 3. Calificación INCA y los intervalos para el PM <sub>10</sub> . ....	23
Tabla 4. Calificación INCA y los intervalos para el PM <sub>2.5</sub> . ....	23
Tabla 5. Características del protocolo MQTT.....	26
Tabla 6. Tipos de mensaje para el protocolo MQTT. ....	27
Tabla 7. Especificaciones técnicas del Arduino MKR1000. ....	29
Tabla 8. Concentración de gas relacionado al rango de detección. ....	32
Tabla 9. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-2.....	32
Tabla 10. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-4.....	33
Tabla 11. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-9.....	33
Tabla 12. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-135..	34
Tabla 13. Especificaciones técnicas del sensor DHT21 .....	34
Tabla 14. Métodos para el monitoreo de calidad de aire.....	42
Tabla 15. Coordenadas para la curva de sensibilidad del sensor MQ-2....	47
Tabla 16. Coordenadas para la curva de sensibilidad del sensor MQ-4....	50
Tabla 17. Coordenadas para la curva de sensibilidad del sensor MQ-9....	52
Tabla 18. Coordenadas de la curva de sensibilidad del sensor MQ-135. ..	55
Tabla 19. Coordinadas para el sensor de suspensión de partículas. ....	58
Tabla 20. Parámetros del dispositivo.....	63
Tabla 21. Conexiones con el microcontrolador.....	77
Tabla 22. Herramientas de visualización. ....	85
Tabla 23. Información de muestras del puente Acho. ....	90
Tabla 24. Información obtenida de la toma muestra I. ....	91
Tabla 25. Información de muestras de la avenida Abancay. ....	93
Tabla 26. Información obtenida de la toma muestra II. ....	94
Tabla 27. Información de muestras de Parque Industrial. ....	96
Tabla 28. Información obtenida de la toma muestra II. ....	97
Tabla 29. Recursos Humanos. ....	99
Tabla 30. Recursos materiales.....	99
Tabla 31. Recursos de Software. ....	100
Tabla 32. Otros gastos. ....	100

<b>Tabla 33. Gastos Totales. ....</b>	<b>101</b>
<b>Tabla 34. Caja de Flujo del proyecto. ....</b>	<b>103</b>

## Introducción

La contaminación del aire es un riesgo ambiental para la salud humana, llevándola a un deterioro continuó al respirar una pésima calidad de aire en sus alrededores. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS); nueve de cada diez personas a nivel mundial se encuentran expuestos a las pésimas condiciones del aire, por la existencia de contaminantes y gases del efecto invernadero en elevadas concentraciones. Cabe mencionar que el 91% de países no cumplen con los estándares permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2018a). Asimismo; señalar que este tema es una prioridad en las reuniones y cumbres mundiales, pero no es suficiente debido a que existe un incremento de la tasa de mortalidad por contaminación del aire en diferentes países del mundo (Comisión Económica para América Latina y el Caribe, n.d.)

Desafortunadamente; alrededor de 2.6 millones de personas a nivel mundial mueren anualmente, en la mayoría de casos son adultos mayores y menores de 5 años por ser vulnerables a contraer infecciones o enfermedades a causa de la exposición de emisiones por contaminación. En China, EE.UU. e India, sus habitantes respiran un 58% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) diariamente. Entre los países de Latinoamérica con la peor calidad del aire se encuentra Brasil con 66 633 muertes por causa de contaminación, seguidamente de Perú con la segunda ciudad con la peor calidad de aire que respiran sus habitantes y con 19 465 casos de muertes (Breathe Life, 2020).

Las principales enfermedades respiratorias en el Perú durante el año 2018, fueron la enfermedad de Obstrucción Crónica (EPOC) con 48 755 casos de pacientes, el asma con 200 116 y el cáncer de pulmón 2 500 pacientes (Ministerio de Salud, 2018).

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017); en estudios realizados en las zonas urbanas, se encontró que la mayoría de personas que habitan en la costa considera que se encuentran expuestos a elevados índices de contaminación y con un nivel de insatisfacción de 56.7% en Lima, 70% en

Lima Sur y 52% en Callao, ya que ha provocado afecciones en la salud de las personas debido a esta problemática.

El aire es un recurso vital para el ser humano presente en el proceso de respiración de la persona, caracterizado por la frecuencia respiratoria por minuto, donde los niños normalmente inhalan 40 a 60 veces y un adulto de 20 a 40 veces; y de acuerdo al Instituto Nacional de Salud Pública (INSP, 2019); el aire generalmente se encuentra en pésimas condiciones por la presencia de contaminantes que afectan el sistema respiratorio de la persona.

La presente tesis tiene la finalidad de proponer un sistema de monitoreo de la calidad de aire mediante la medición de concentraciones de contaminantes atmosféricos (monóxido de carbono), los gases del efecto invernadero (dióxido de carbono y metano) y partículas en suspensión  $PM_{2.5}$  y  $PM_{10}$ , en tiempo real, y utilizando dispositivos de Internet de las Cosas (IoT) en zonas urbanas.

En el capítulo I; se precisa de manera detallada la problemática de la investigación realizada y su formulación. También, se indica los objetivos que están dirigidos a la solución de la problemática, y finalmente se detallará los alcances obtenidos y las limitaciones para el presente desarrollo.

En el capítulo II; se menciona los proyectos de investigación, tesis y artículos nacionales e internacionales que constituyen los antecedentes de la presente investigación y el análisis de los resultados obtenidos. En el marco teórico; se fundamenta con base en el desarrollo de temas como la contaminación del aire, influencia de contaminantes en la salud y se considera que Internet de las cosas es una como herramienta para brindar una solución innovadora a esta problemática. En el marco metodológico; se da a conocer el proceso de investigación evaluando las condiciones requeridas para cumplir con los objetivos propuestos, además en el marco legal se describe la normativa sobre el monitoreo ambiental y la importancia de brindar dicha información a los habitantes.

En el capítulo III; se describe el desarrollo de la tesis, resolviendo cada uno de los objetivos propuestos en la investigación, iniciando desde el análisis de la situación actual, casos de personas afectadas, dispositivos existentes, también mediante el uso del software para la realización de simulaciones de la estructura

física, diseño electrónico utilizados para realizar toma de pruebas antes realizar la implementación del dispositivo.

Finalmente; en el capítulo IV se da a conocer el análisis de costos mencionando los recursos humanos y materiales requeridos para el desarrollo del dispositivo. Se menciona el análisis de beneficio y sensibilidad del proyecto de tesis mediante la realización de cálculos, concluyendo el desarrollo de la presente tesis con las conclusiones, recomendaciones y anexos.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.1.1. Planteamiento y descripción de la investigación**

En la actualidad; se presentan aproximadamente 12.6 millones de muertes anuales en el mundo ocasionadas por las elevadas concentraciones de contaminantes en el aire a las que se encuentran frecuentemente expuestas las personas. Desafortunadamente; la mayoría de países no cumplen con las directrices internacionales, por lo cual nueve de cada diez personas en el mundo respiran aire en pésimas condiciones. En el Perú; según la Instituto Nacional Estadísticas e Informática (INEI), el 87% personas que habitan en zonas urbanas en la costa mencionan estar expuesto a altos índices por contaminación del aire. Además; el Ministerio de Salud (MINSU), ha informado del incremento de casos de pacientes por enfermedades respiratorias a causa de estar expuesto a índices elevados de contaminación cabe mencionar que, de no tomar medidas, el aumento de enfermedad y muertes, seguirá incrementándose anualmente.

Ante el problema expuesto; se propone la realización de la implementación de un dispositivo de Internet de las Cosas portable para la medición en tiempo real de los contaminantes presentes en el aire, permitiendo al usuario conocer las condiciones de la calidad de aire a la que se encuentra expuesto, y obtener alertas cuando las condiciones manifiesten un riesgo para la salud.

Se busca emplear el dispositivo en las zonas urbanas de Lima, realizando mediciones en tiempo real, y utilizando un servicio en la nube para la visualización de datos que permita promover la regulación de las emisiones y contribuir con mejorar la calidad de vida en la salud de la persona mediante la influencia de las condiciones de calidad del aire.

### **1.1.2. Formulación del problema**

¿Cómo realizar la medición y monitoreo de las condiciones de la calidad de aire en las zonas urbanas para mejorar la esperanza de vida de las personas?

### **1.1.3. Formulación de los problemas específicos**

**P.E.1:** ¿Cuál es la situación actual de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire en Lima?

**P.E.2:** ¿Cuáles son las principales directrices utilizadas para medir y evaluar la calidad del aire?

**P.E.3:** ¿Cuáles son las etapas funcionales del dispositivo de Internet de las cosas?

**P.E.4:** ¿Cómo se energizará los elementos y componentes electrónicos para el funcionamiento del dispositivo de Internet de las cosas?

**P.E.5:** ¿Cómo se realizará la implementación del dispositivo de Internet de las cosas y su proceso de calibración?

**P.E.6:** ¿De qué manera los usuarios y tomadores de decisión podrán visualizar las concentraciones de contaminantes del aire en zonas urbanas?

## **1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Diseñar e implementar un dispositivo de Internet de las Cosas para la medición y el monitoreo de la calidad de aire en zonas urbanas.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

**O.E.1:** Describir la situación actual de los métodos de medición y monitoreo de la calidad del aire utilizado en diversas zonas urbanas a nivel nacional.

**O.E.2:** Caracterizar los tipos de dispositivos electrónicos e Internet de las Cosas que permitan medir las directrices.

**O.E.3:** Realizar un diagrama de bloques de las etapas del proceso del dispositivo de Internet de las Cosas.

**O.E.4:** Diseñar un dispositivo para la medición y monitoreo de los contaminantes para evaluar la calidad de aire.

**O.E.5:** Implementar y validar el dispositivo de Internet de las cosas para la medición de los contaminantes en el aire.

**O.E.6:** Monitorear en tiempo real utilizando el dispositivo de Internet de las Cosas mediante el uso de un servicio en la nube para visualización y evaluación de la contaminación en las zonas urbanas.

### **1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1. Justificación Técnica**

Actualmente; la medición y el monitoreo de la calidad de aire se encuentra a cargo de las entidades gubernamentales (MINAM, SENAMHI, etc.), que informa tardíamente a la población, mediante estudios publicados en revistas y artículos, cuando ya se ha ocasionado problemas de salud en los habitantes.

El dispositivo propuesto utilizará Internet de las Cosas, siendo portable y de simple ubicación en lugares estratégicos para la toma de mediciones, el cual permitirá al usuario conocer los elementos climatológicos, los gases del efecto invernadero (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>), el contaminante atmosférico (monóxido de carbono), concentración de humo y las partículas en suspensión (PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub>) de las zonas urbanas que se encuentren muestreando; obteniéndose los valores de dichos parámetros remotamente y en tiempo real con el uso de la conexión a Internet y transfiriendo los datos a la nube.

#### **1.3.2. Justificación económica**

Actualmente; existen equipos de medición comerciales utilizados por parte de las entidades del estado (MINAM, INEI, SENAMHI, entre otras) para realizar publicaciones de los valores medidos de fechas posteriores a las actuales; por lo que se ha expuesto en riesgo la salud de los habitantes que se encuentran en las zonas urbanas medidas.

Por otro lado; los equipos utilizados son puntuales y específicos para la lectura de la concentración deseada, lo que haría

necesario utilizar varios equipos; generando mayores gastos en adquisición y el desplazamiento de los mismos por las diferentes zonas urbanas que se desee evaluar.

En este sentido, el dispositivo desarrollado incorpora sensores electroquímicos MQ, para la detección de contaminantes, controlados por la tarjeta Arduino para realizar un dispositivo de fácil desplazamiento (portable); por lo que la implementación se realizará con sensores de precisión aceptable y de bajo costo con el fin de permitirle al usuario obtener el dispositivo a un precio económico y la capacidad de poder agregar mejoras al dispositivo y la realización de mediciones a las condiciones del aire exterior e interior.

### **1.3.3. Justificación social**

La población con problemas respiratorios (pacientes con asma, tuberculosis) necesitan evitar su exposición a zonas con altos índices de contaminación en el aire, por lo que al utilizar este dispositivo les permitirá conocer la situación de los elementos climatológicos, valores de las concentraciones de gases y de ser necesario mediante el monitoreo constante, y en caso de ser necesario tomar medidas de prevención para el cuidado de la salud.

Así mismo, estos datos pueden contribuir con el cuidado de medio ambiente por parte de las municipalidades y otros organismos regulando a las empresas que se encuentran a los alrededores para cuidar, respetar la vida y la salud de los pobladores.

## **1.4. ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.4.1. Alcances**

- El dispositivo de Internet de las cosas se encuentra diseñada para medir y monitorear la calidad del aire mediante la medición de los valores de los elementos climatológicos, contaminantes atmosféricos y gases del efecto invernadero en las zonas urbanas, donde diariamente transita gran cantidad de personas.

- El dispositivo de IoT incorporará mayores funcionalidades cada vez que sea requerido por el usuario agregando nuevos sensores por lo que se caracteriza por ser de sistema abierto.
- Se trabajará con una *web Service* para el monitoreo y visualización en tiempo real relacionando el tiempo de inicio y final, en donde se realiza las pruebas de campo.
- El uso del dispositivo podría ser utilizado para estudios ambientales para el sector de la agricultura y plantas industriales.
- En el futuro, se espera mejorar el dispositivo de Internet de las Cosas aplicando nuevas herramientas como el *Machine Learning* para un análisis riguroso mediante el uso datos almacenados y el pronóstico de su evolución y los daños a la salud que sufrirían los pobladores de dichas zonas.

#### **1.4.2. Limitaciones**

- Necesidad de participación en talleres de emprendimiento para utilizar nuevas aplicaciones mediante el uso de las telecomunicaciones, lo que promueve una solución aplicando la ingeniería electrónica en el uso de microcontroladores y placas (Arduino), Internet de las Cosas, entre otros.
- Requerimiento de mayor capacitación para actualizar algunos conocimientos en mayores y nuevas aplicaciones del uso de sensores.
- Obtención de datos y estadísticas de lugares a nivel nacional con altos índices de contaminación y casos de personas con lesiones y enfermedades respiratorias a causa de contaminación del aire.
- Costos elevados que superan la economía propuesta para las pruebas de alta densidad y en la escalabilidad de implementación del dispositivo de Internet de las Cosas.

## **CAPÍTULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO**

## **2.1. ANTECEDENTES**

### **2.1.1. Internacionales**

**A.** En Budiarto y Febriana (2017), se menciona la importancia de incentivar a la población a transportarse en bicicletas para reducir las emisiones de contaminantes el impacto que ocasiona en la salud, además menciona la importancia del uso de dispositivos de bajo precio que contribuyan con aplicaciones para evitar problemas medioambientales mediante la integración del Internet de las Cosas para el monitoreo de contaminantes atmosféricos y partículas en suspensión en los parques que se encuentran en los alrededores.

Diversos equipos comerciales realizan mediciones ambientales; sin embargo, el uso específico de su hardware y software, no permite adaptar nuevas funcionalidades que serían necesarias para operar en diversas áreas midiendo la presencia de contaminantes en el agua o aire. En ese sentido; el desarrollo de nuevas tecnologías abiertas permite abarcar mayores funcionalidades y experimentos en campo, desarrollando un análisis en tiempo real y que el usuario conozca las condiciones básicas del ambiente, como la temperatura y humedad.

**B.** En Dugdale, Ghazi y Khadir (2016), se manifiesta la alarmante problemática debido a las elevadas concentraciones de contaminantes atmosféricos que se encuentran suspendidas en el aire las cuales provocan daños en la salud. Por lo que, se propone un modelado utilizando un simulador que permita analizar la influencia de las fuentes de contaminación: las industrias y las actividades humanas. Por lo que el monitoreo constante permitirá conocer los niveles, mantener un control y tomar decisiones, y así contribuir con el cuidado al medio ambiente y con la salud de las personas.

La contaminación del aire es una gran preocupación para la salud de miles de personas por las lesiones y enfermedades

respiratorias, debido a la frecuencia de exposición a respirar estos contaminantes. A pesar de que los diversos gobiernos realizan programas para concientizar a sus ciudadanos en el cuidado del medio ambiente no es suficiente porque los índices de contaminación del aire cada día se están incrementando. Por lo que el uso de la tecnología puede aliviar realizando funciones de monitoreo, brindando soluciones a esta alarmante problemática

- C. En Agarwal, Rajesh y Saravanan (2014) se manifiesta la necesidad del uso de estaciones meteorológicas en diferentes zonas para el control y evaluación del nivel de riesgo en la salud de las personas causado por los contaminantes como: el sulfato de hidrogeno, y monóxido de carbono (CO). Se propone una red de sensores de monitoreo con evaluación de los algoritmos de encaminamiento de datos entre los nodos, donde cada uno de ellos cumple la función de detección de contaminantes, procesamiento y transmisión de datos.

Las estaciones meteorológicas permiten obtener resultados específicos realizando los reportes constantes, utilizando sensores y componentes electrónicos que realizan lecturas de parámetros ambientales para estudios del suelo, agua, aire, etc. Adicionalmente a ello, diversas organizaciones han ido incorporando sistemas de alerta temprana para prevenir riesgos y desastres naturales.

- D. Según, Yongping, Guo y Zhang (2014) indica la importancia de la construcción de nuevos dispositivos para realizar monitoreo y control de las concentraciones de gas para la seguridad de los obreros en las minas. Proponiendo el desarrollo de un sistema capaz de cumplir con estas funcionalidades utilizando comunicación inalámbrica y de bajo consumo.

Actualmente; se utilizan sistemas para detectar y medir concentraciones para evitar riesgos en la producción de plantas

industriales y minas evitando problemas en la salud de los obreros, lo que significaría un retraso en la producción. El uso del Bluetooth para controlar y monitorear con el uso de aplicaciones desarrolladas para la realización de tareas específicas.

### 2.1.2. Nacionales

A. Según, Moreno y Palmisano (2013) en su tesis titulada “**Nivel de afectación de la contaminación atmosférica por efectos en la infraestructura del campus universitario del campus universitario debido a la emisión de partículas PM<sub>10</sub> y CO**”, resalta en su investigación la problemática de las grandes ciudades debido a las elevadas concentraciones de atmosféricos que afectan a millones de personas, provocando efectos negativos en la salud (enfermedades respiratorias, cáncer de pulmón) por causas de la pésima calidad de aire respirado. Además, se realizó un estudio analítico relacionando las partículas en suspensión en un proceso de mapeo y una predicción estandarizada de un estudio de la zona.

El autor resalta, que el daño que provoca en la salud de las personas originado por los contaminantes que se encuentran en el aire como: el monóxido de carbono (CO), plomo (Pb), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), y partículas en suspensión PM<sub>2.5</sub> causado por diversos factores geofísicos, meteorológicos, sociales y económicos. La necesidad vital de la persona por respirar un aire libre de contaminantes o que se adecue a los estándares mundiales que regula la OMS y procurar tomar medidas de prevención ante esta grave problemática.

B. En Aragón (2014) en su tesis titulada “**Diseño e implementación de una plataforma de gestión de una red de sensores aplicada a la monitorización de la calidad ambiental en la cuenca del río Napo**”, propone el desarrollo de una plataforma de hardware con funciones de detección y monitoreo ambiental mediante una red de sensores para supervisar las condiciones medioambientales en zonas

específicas que cuentan con altos índices de contaminación, en donde los habitantes constantemente arrojan residuos sólidos, que afectan su propia salud y al ecosistema.

El monitoreo ambiental es utilizado para el estudio de áreas nacionales que se encuentran en peligro debido que se toman medidas cuando existe una alerta de insalubridad que coloca en alto riesgo a la población, por lo que el desarrollo de equipos o sistemas que ayuden a realizar estudios de manera rápida de brinden a las organizaciones (gobierno y municipalidades) encargadas regular estas emisiones.

- C.** En Valverde (2015) se realizó un estudio de la calidad de aire en el distrito del Agustino a causa de la contaminación por parte de las industrias que se encuentran a los alrededores emitiendo elevadas concentraciones de contaminantes y partículas en suspensión  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$ , realizando una investigación pre experimental debido a las mediciones tomadas en diferentes zonas del distrito mediante el uso de un dispositivo de control de flujo comparando dichos datos con el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA). Finalmente, se menciona que los índices de contaminación obtenidos en las pruebas sobrepasan los estándares, lo cual podría ser perjudicial para la salud de las personas que se encuentran a los alrededores.

La falta de estudios ambientales por parte de entidades del estado a las diferentes zonas a nivel nacional, ha permitido que las emisiones provenientes de las industrias y vehículos se incrementen de manera considerable, por lo que, sería indispensable que las autoridades ambientales ante dicha situación promuevan programas de contingencia para regular dichas emisiones y evitar un riesgo en la salud de millones de habitantes.

- D.** En Medina, Mujaico y Soto (2018b), se menciona la importancia de un monitoreo de calidad de aire por la falta de regulación de las emisiones de gases por parte de los vehículos, por lo que, el

autor propone la implementación de un sistema portátil utilizando sensores de bajo costo para la toma de muestras en las avenidas más congestionadas de vehículos realizando un cuadro comparativo de dichas situaciones comparando la detección de gases en diferentes periodos de tiempo. La evaluación de las condiciones de la calidad del aire es importante por la influencia que tienen dichos contaminantes en la salud de la persona, por lo que el uso de sistemas de bajo precio que propongan la medición de parámetros medioambientales podría generar un análisis de la zona y de los alrededores, evitando enfermedades y problemas en la frecuencia respiratoria de las personas.

## A. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Contaminación del aire en zonas urbanas

La contaminación del aire es una mezcla de partículas en suspensión en el aire y concentraciones de contaminantes atmosféricos (Ministerio del Ambiente, 2019).

La contaminación urbana la padecen los habitantes de las ciudades causada por la realización de actividades humanas que incrementan debido a sus emisiones la contaminación del aire como:

- La actividad vehicular genera el 70% de la contaminación del aire a nivel nacional debido a la pésima calidad de combustible que utilizan los vehículos (Arias y Morales, 2013).
- La actividad industrial proveniente del proceso de fabricación de productos, la quema de combustibles los cuales son nocivos para la salud y del medioambiente (Djebbri y Rouainia, 2017).
- La actividad doméstica como la exposición frecuentemente a químicos (aerosoles), cocción de alimentos con leña y la falta de ventilación en los hogares (Saavedra, 2014).

En la Figura 1, se muestra las causas y efectos de la contaminación urbana.

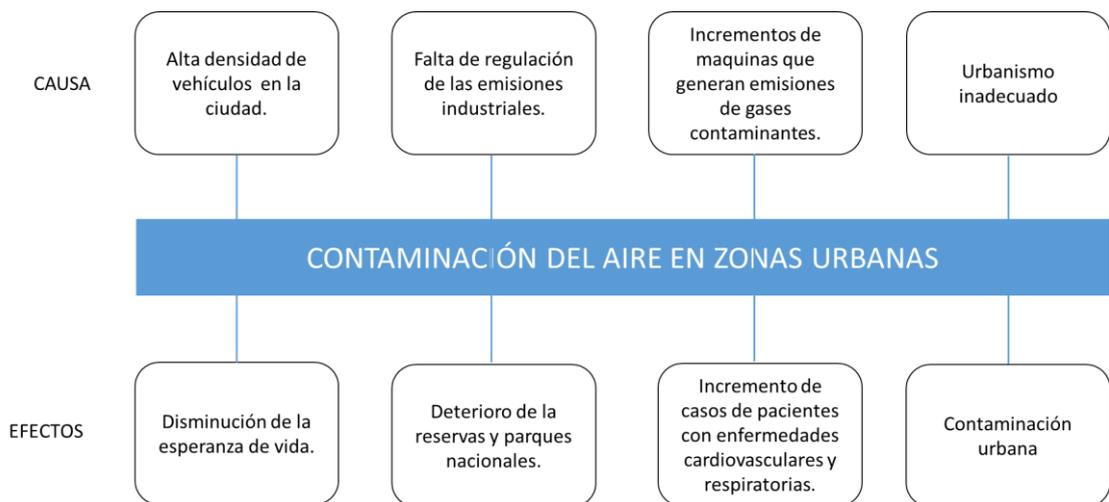


Figura 1. Causa-efecto de la contaminación en zonas urbanas.

La contaminación del aire es gran problema que enfrenta el mundo debido a la presencia de contaminantes atmosféricos por factores meteorológicos, físicos y humanos que alteran la calidad de aire a la que se encuentra frecuentemente expuesta la persona, provoca un riesgo en salud humana y es la primera causa de muertes en menores de 5 años (Cáceres, 2015).

Según, Amable, Bello, Benítez, Escobar, Méndez y Zamora (2017) indica un estudio realizado que demuestran que las personas que habitan en zonas urbanas presentan 1.7 veces más enfermedades respiratorias que una persona que habita en la zona rural.

#### **A. Contaminantes Atmosféricos**

Son aquellas concentraciones formadas por sustancias y materia que se emiten directamente a la atmósfera y que causan efectos en la salud de las personas y al ecosistema (Pokrovskaya, Rizhakova y Rogoza, 2012).

Los contaminantes atmosféricos son: el monóxido de carbono, el dióxido de nitrógeno, las partículas en suspensión, entre otras.

- Monóxido de carbono (CO): Es un gas inodoro e insípido, se caracteriza por ser menos denso en el aire. Llamado el asesino silencioso, porque se encuentra en elevadas concentraciones debido a que es la principal fuente artificial de los vehículos. Se considera el mayor contaminante de la atmósfera (Lopez, 2009).

Se producen en procesos de combustión de materiales como el petróleo, madera, carbón, entre otros (Murcia Salud, n.d.).

Los efectos que producen en la persona debido a la exposición del monóxido de carbono son: el dolor de cabeza, insomnio, pérdidas de memoria, disminución de la frecuencia respiratoria y problemas cardiovasculares, coma, colapso y la muerte.

- Partículas en suspensión también llamado material particulado, el cual es una mezcla de partículas sólidas y líquidas que producen reacciones químicas en el aire, compuesta por varios compuestos, nitratos, cloruro de sodio, polvo de minerales y carbón (Vara, 2017).

Según Murriel (2017) clasifican por tamaño de las partículas (Figura 2), según las directrices de la OMS:

- PM<sub>10</sub>: Son las partículas menores a 10 micras, denominadas partículas gruesas que afectan principalmente al sistema respiratorio, llegando hasta los conductos del pulmón.
- PM<sub>2.5</sub>: Son las partículas menores de 2.5 micras, denominadas partículas finas, afectan al sistema respiratorio y llegan hasta los alvéolos.

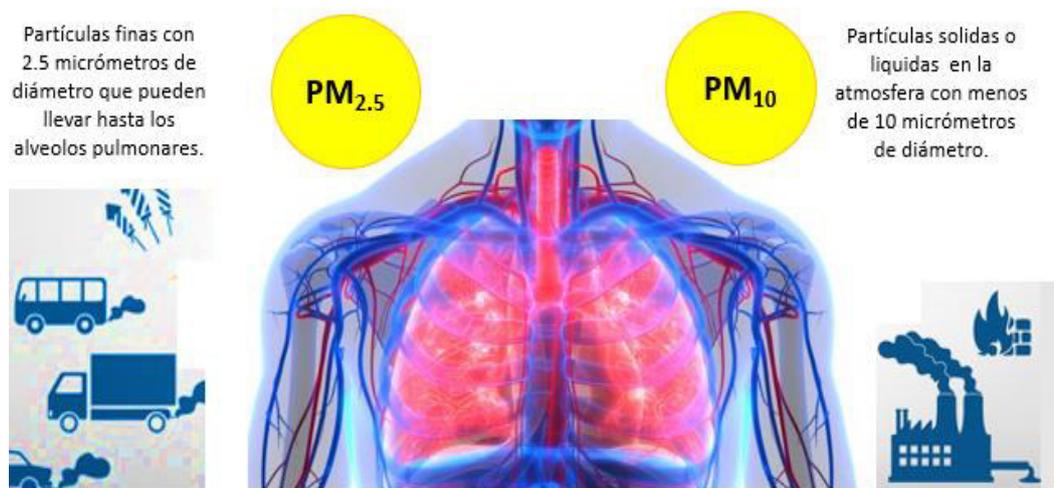


Figura 2. Partículas en suspensión del aire.

## B. Gases del efecto invernadero

Es aquel gas que se acumulan en la atmósfera y es capaz de absorber la radiación infrarroja del Sol. Cabe mencionar que se han incrementado los gases del efecto invernadero debido al aumento de máquinas y equipos desde el año 1760.

Los gases del efecto invernadero son: el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso, entre otros (Hilario, 2017).

- Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>): Gas incoloro, producido por fuentes naturales y por las actividades humanas como la emisión de vehículos y procesos de combustión, la cual provoca del 70 a 75% del gas (Eroski Consumer, 2005). Cabe resaltar que si bien no es un gas tóxico este deberá mantenerse en equilibrio. Para no generar problemas ambientales que afectan directamente a la salud humana y al ecosistema.
- Metano (CH<sub>4</sub>): Gas incoloro e insípido y se produce por la descomposición de la materia orgánica, sus principales fuentes son: los combustibles fósiles, la agricultura, la ganadería, el petróleo, entre otras. Cabe resaltar que la fuga de dicho gas provoca 84 veces mayor daño que el dióxido de carbono y esta situación se encuentra en las tuberías de las industrias de petróleo.

### **2.2.2. Impacto en la salud humana**

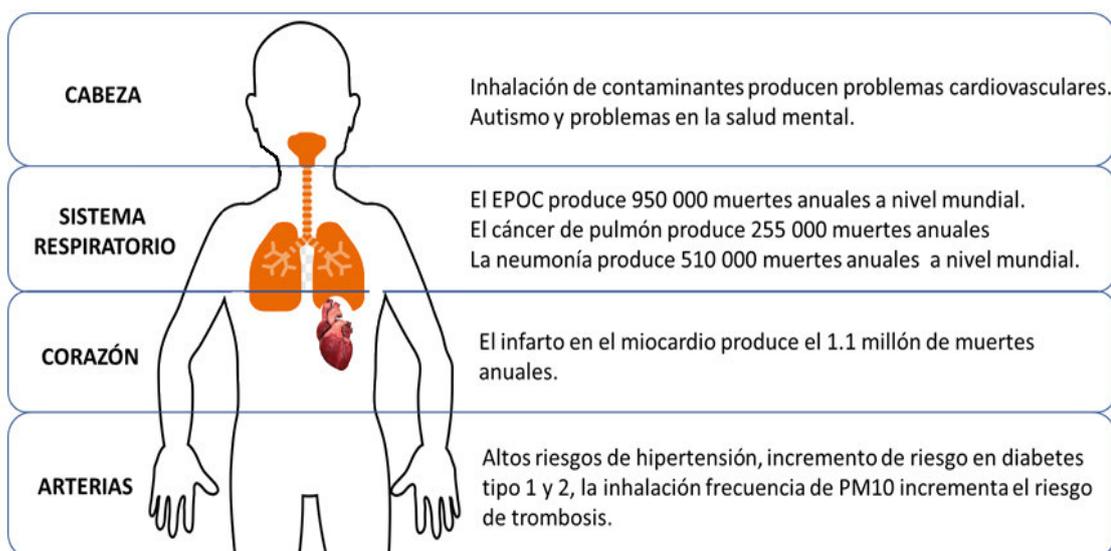
El impacto causado a corto y mediano plazo en la salud de la persona dependen de su edad, antecedentes de problemas respiratorios y cardiacos (Figura 3), frecuencia de exposición según el rango de concentración de material particulado PM<sub>10</sub>. Cabe mencionar que la contaminación en las zonas urbanas aumenta el riesgo de sufrir de infecciones o enfermedades respiratorias o cardiovasculares (Organización Mundial de la Salud, 2018b).



**Figura 3. Impacto en la salud humana.**

El pulmón es el órgano que más se daña por la contaminación del aire, en los niños el pulmón es de color rosado y cuando llegan a personas de la tercera edad son de color negruzco a pesar de haber tenido condición de vida saludable.

En la Figura 4, se muestra los casos de muertes anuales a nivel mundial según la OMS y las principales afecciones que sufren las personas que se encuentran frecuentemente expuestas a la contaminación del aire.



**Figura 4. Casos de muertes por contaminación.**

### 2.2.3. Índice de Calidad del Aire (INCA)

Es un indicador adimensional utilizado para determinar la calidad del aire en una zona determinada y en un cierto periodo de tiempo, además dicha información es comparada según la resolución establecida por el MINAM en el 2016.

Sus características son:

- El rango permisible para la salud humana es de 0 a 100.
- Se divide en cuatro calificaciones diferenciadas por colores.
- Mientras mayor sea el índice de calidad de aire, peor es la calidad de aire en la zona (Figura 5).
- Información comprensible para la población.
- Información obtenida por un conjunto de datos.



**Figura 5. Calificación INCA**

**Fuente: Ministerio del Ambiente**

En la Tabla 1, se menciona las recomendaciones según la calificación del INCA. Cabe resaltar que mientras mayor sea el valor la calificación INCA en la zona será peor colocando en riesgo la vida de las personas que se encuentren en sus alrededores.

**Tabla 1. Calificación INCA y las recomendaciones.**

CAL.	VALOR	CUIDADO	RECOMENDACIONES
Buena	0-50	La calidad de aire es satisfactoria y no afecta en la salud.	Calidad de aire aceptable dentro de los estándares de la OMS.
Moderada	51-100	Tomar precauciones en personas con problemas respiratorios sobre todo en la población sensible.	Se pueden realizar actividades al aire libre, tomando medidas de prevención.
Mala	101-VUELC	Los niños, adultos mayores o con algún padecimiento podrían estar altamente expuesta al riesgo de sufrir enfermedad respiratoria.	Evitar realizar actividades al aire libre, implementar el uso de mascarillas en las personas.
Umbral de cuidado	>VUEC*	La población podría estar en riesgo, por la existencia elevada de gases tóxicos y partículas suspendidas en el aire.	Es importante implementar estados de alerta para regular los niveles de contaminación urbana.

**Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología**

Con respecto al gas de monóxido de carbono (CO) el índice de calidad del aire se evalúa con respecto a una exposición promedio de 8 horas, mediante la siguiente ecuación:

$$I(CO) = [CO] \times \frac{100}{10000} \quad (1)$$

En la Tabla 2, se muestra los intervalos y las concentraciones correspondientes.

**Tabla 2. Calificación INCA y los intervalos para el CO.**

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN (ug /m <sup>3</sup> )
Buena	0 -50	0-5049
Moderada	51-100	5050-10049
Mala	101-150	10050-15049
Umbral de cuidado	>150	>15050

**Fuente: Ministerio del Ambiente**

Con respecto al material particulado PM<sub>10</sub> el índice de calidad del aire, se evalúa con respecto a una exposición promedio de 24 horas, mediante la siguiente ecuación:

$$I (PM10) = [PM10] \times \frac{100}{150} \quad (2)$$

En la Tabla 3, se muestra los intervalos y las concentraciones correspondientes.

**Tabla 3. Calificación INCA y los intervalos para el PM<sub>10</sub>.**

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN (ug /m <sup>3</sup> )
Buena	0 -50	0-75
Moderada	51-100	76-150
Mala	101-167	161-250
Umbral de cuidado	>167	>250

**Fuente: Ministerio del Ambiente**

Con respecto de las partículas en suspensión PM<sub>2.5</sub> el índice de calidad del aire, se evalúa con respecto a una exposición promedio de 24 horas, mediante la siguiente ecuación:

$$I (PM2.5) = [PM2.5] \times \frac{100}{25} \quad (3)$$

En la Tabla 4, se muestra los intervalos y las concentraciones correspondientes.

**Tabla 4. Calificación INCA y los intervalos para el PM<sub>2.5</sub>.**

CALIFICACIÓN	INTERVALO DEL INCA	CONCENTRACIÓN (ug /m <sup>3</sup> )
Buena	0 -50	0-12.5
Moderada	51-100	12.6-25
Mala	101-167	25.1-125
Umbral de cuidado	>167	>125

**Fuente: Ministerio del Ambiente**

El límite permisible según los estándares de calidad de aire del PM<sub>10</sub> es 50 ug/m<sup>3</sup> y para el PM<sub>2.5</sub> es 25 ug/m<sup>3</sup> (OMS, 2018b).

#### **2.2.4. Internet de las Cosas**

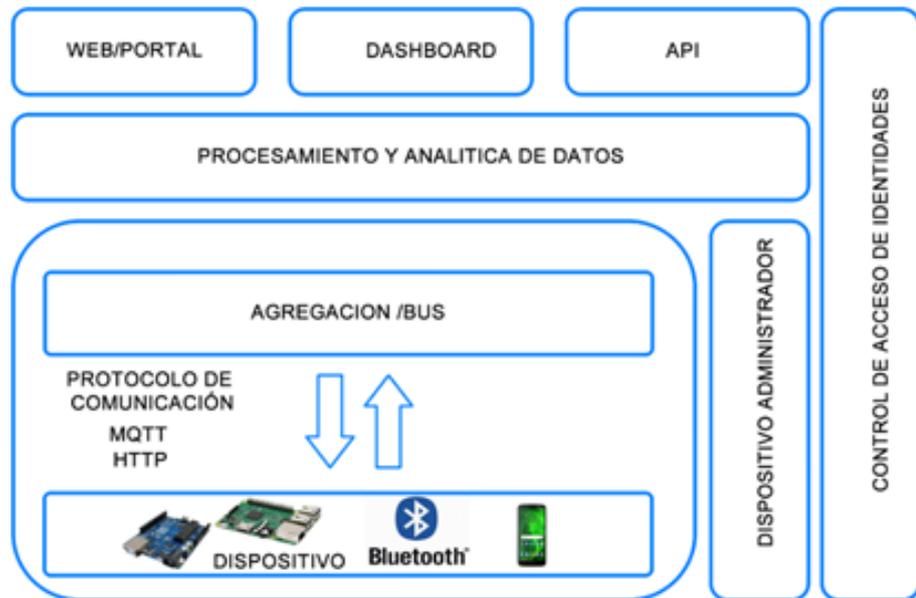
Es la interconexión de objetos, sensores y dispositivos conectados a Internet recopilando y compartiendo información mediante la transferencia de datos a la nube, las informaciones obtenidas por estos dispositivos son utilizadas por empresas privadas y públicas, el estado y las personas para promover mejoras a diversas problemáticas (Barreto, Del Mar, Farfán, Jeri y Paredes, 2017).

Se define como la revolución tecnológica del futuro debido a que permite la comunicación de varios objetos físicos para lograr una gestión inteligente y una optimización de procesos. Se estima para el 2023 que existan 29 300 millones de dispositivos y equipos conectados a Internet (Cisco Networking Academy Builds IT & Education, 2016).

El uso de estos dispositivos adopta herramientas tecnológicas como el Internet de las cosas para la implementación de grupos de sensores que para solucionar problemas inmediatos en casos complejos para resolver o atender necesidades de la sociedad (Acosta y Yauri, 2018).

Los elementos (Figura 6) que intervienen en el IoT son:

- Conectividad, es el medio de comunicación que permite la comunicación mediante el uso del dispositivo de hardware.
- Los protocolos de comunicación: MQTT, HTTP, entre otros.
- Dispositivos hardware, permiten la interconexión.
- Actuadores, sensores y periféricos.
- Aplicaciones son aquellas en donde el usuario monitorea la información obtenida.



**Figura 6. Arquitectura del Internet de las Cosas.**

Según, Cisco Networking Academy Builds IT & Education (2016).

los beneficios de la conexión de estos dispositivos son:

- A nivel de Estado: Permite realizar un monitoreo y supervisión para regular factores medioambientales (contaminación por parte de las industrias) y sociales.
- A nivel Industrial: Mejora los procesos en la productividad por parte de las fábricas, además brinda a los encargados realizar diagnósticos preventivos de las maquinarias.
- A nivel Empresarial: Permite a las empresas obtener información de sus clientes para mejorar el proceso de producción y la publicidad del producto, además brinda mayores oportunidades en basado en ideas de negocio.
- A nivel de Ciudad: Brinda la capacidad de controlar y monitorear los factores de tráfico de vehículos, además mejora el servicio en los hospitales.

Una de las aplicaciones del Internet de las cosas que han contribuido con la sociedad es el *Smart Cities* porque mejoran el desarrollo urbano gestionando la información en tiempo real, interpretando datos y tomando decisiones para actuar promoviendo el uso de tecnología para la innovación de la ciudad.

## 2.2.5. Protocolo de comunicación MQTT

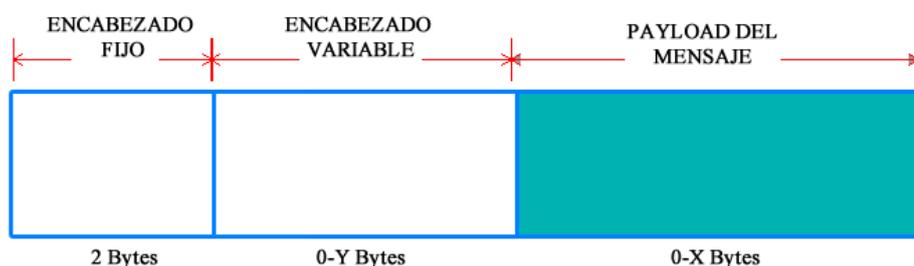
Este protocolo de red es utilizado para el transporte de mensajes Cliente/Servidor de forma confiable IP, cuenta con un soporte bidireccional, simple o flexible, requiere poco ancho de banda y se encuentra basado en TCP/IP (Hervas, 2018).

Soporta mensajes de asíncronos separando al transmisor y al receptor, basándose en un modelo de publicación y suscripción. En la Tabla 5, se muestra las características de dicho protocolo.

**Tabla 5. Características del protocolo MQTT**

CARACTERISTICAS DEL PROTOCOLO MQTT
<ul style="list-style-type: none"><li>• Bajo consumo</li><li>• Arquitectura de topología de estrella (<i>star</i>).</li><li>• Utiliza mediante la autenticidad (usuario y contraseña).</li><li>• Permite el almacenamiento de datos de un dispositivo aplicando IoT</li><li>• Tres calidades de servicio en la entrega de mensajes.</li><li>• Ofrece una seguridad TLS o SSL.</li><li>• Permite la publicación de mensajes a pesar de que el cliente se halla desconectado.</li><li>• Uso de la función de publicación y suscripción para realizar la distribución de uno a varios mensajes.</li><li>• Es la forma de intercambiar de datos mediante el uso de tópicos o etiquetas.</li></ul>

La trama MQTT está compuesta por tres campos (Figura 7):



**Figura 7. Trama del protocolo de comunicación MQTT.**

- Encabezado fijo: Ocupa 2 Bytes y es indispensable enviar esta parte en todos los mensajes.
- Encabezado variable: Ocupa de 0 a 4 Bytes, pero no es indispensable utilizar en todos los mensajes.

- Payload del mensaje: Tiene un máximo de 256 MB.

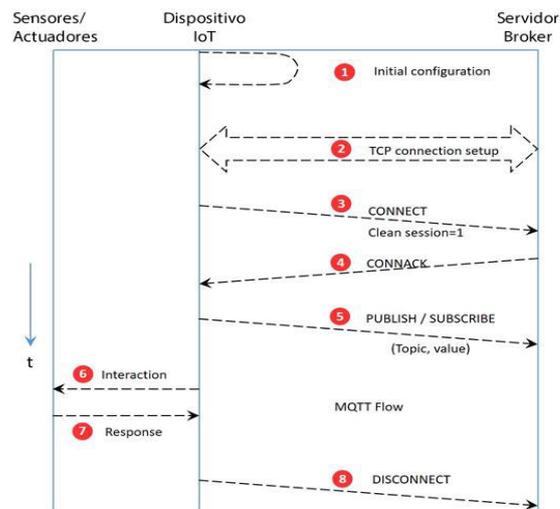
En la Tabla 6, se describen los tipos de mensajes utilizados en este protocolo y la descripción de cada uno. Se menciona a dos actores basados en el servidor y la red de clientes.

**Tabla 6. Tipos de mensaje para el protocolo MQTT.**

TIPO DE MENSAJE	DESCRIPCIÓN
<i>Connect</i>	El cliente solicita la conexión al servidor.
<i>Disconnect</i>	Un mensaje de desconexión enviado a los clientes.
<i>Publish</i>	Representa una nueva publicación de datos por parte de un sensor.
<i>Suscribe</i>	Un mensaje utilizado por los clientes de un tópico específico.
<i>Unsubscribe</i>	Es un mensaje utilizado por los clientes para no suscribir un tópico específico.

**Fuente: Acosta y Yauri R.**

El protocolo de comunicación MQTT se caracteriza por tener un tiempo de conexión persistente a diferencia del protocolo HTTP y su forma de intercambiar datos es mediante el uso de tópicos donde se envían los mensajes (Figura 8).

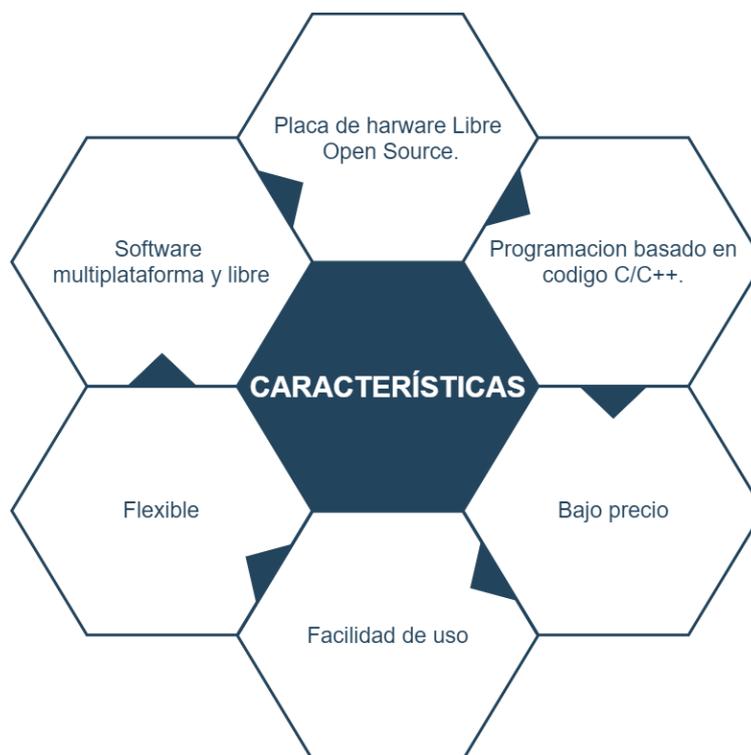


**Figura 8: Flujo de información de MQTT.**

**Fuente: Medina, Mujaico y Soto.**

### 2.2.6. Microcontrolador Arduino

Plataforma de software libre (“*open-source*”) porque permite realizar mejoras y variaciones en sus funciones, cuenta con librerías para que los usuarios realicen múltiples proyectos de control y automatización aplicando el uso de sistemas electrónicos embebidos (Figura 9).



**Figura 9. Características del microcontrolador.**

Actualmente el fabricante se encuentra ofreciendo nuevas tarjetas y escudos Arduino para realizar nuevos proyectos, debido a que tienen incorporados módulos (GPS, GSM) permitiendo a los programadores y desarrolladores mayores beneficios mAh (Arduino, 2016).

#### **A. Arduino MKR1000**

Placa que pertenece a la familia de Arduino utilizada para realizar proyectos con Internet de las cosas, se encuentra basada en el Atmel ATSAMW25, además trabaja con una frecuencia de 2.4 GHz y tiene una SRAM de 32bits, permite la alimentación del circuito incorporando una batería de Li-Po de 3.7 voltios a 700 mAh (Arduino, 2019).

En la Tabla 7, se muestra las especificaciones técnicas del microcontrolador Arduino MKR1000.

**Tabla 7. Especificaciones técnicas del Arduino MKR1000.**

<b>ESPECIFICACIONES</b>	<b>VALOR TÉCNICO</b>
<b>Microcontrolador</b>	SAMD21 Cortex
<b>Voltaje de funcionamiento</b>	5v
<b>Pines digitales</b>	8
<b>Pines PWM</b>	12
<b>Pines Analógicos</b>	7
<b>Memoria Flash</b>	256 KB
<b>Dimensiones</b>	61.5* 25 mm

**Fuente: Arduino**

La placa Arduino MKR1000 se utilizará para controlar el funcionamiento de los sensores y él envió de datos a la nube mediante el uso de Internet con el protocolo de comunicación MQTT (Figura 10).

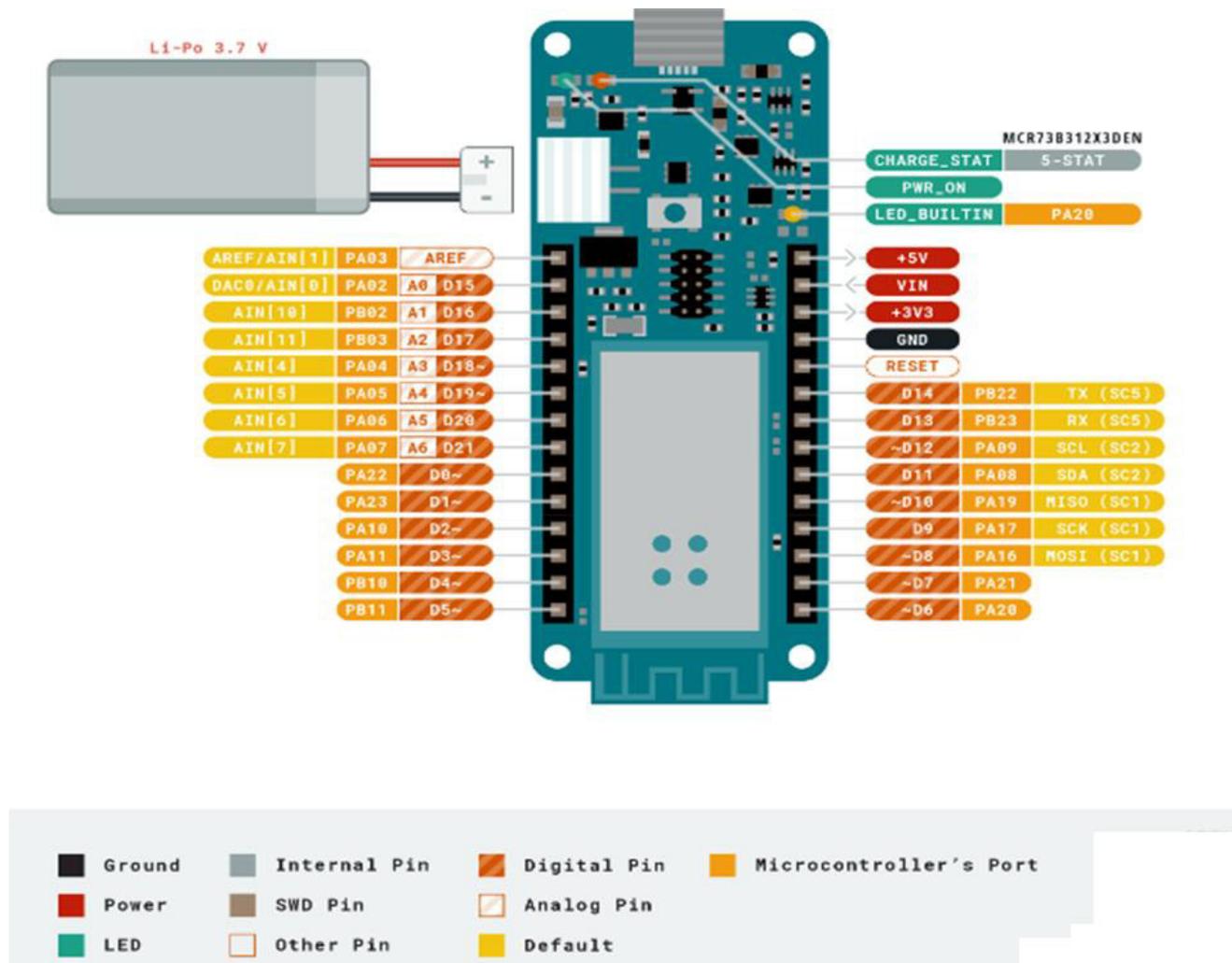


Figura 10. Estructura del Arduino.

Fuente: Arduino

## B. IDE de Arduino

Entorno de desarrollo que permite la ejecución de los códigos mediante el proceso de programación para obtener el comportamiento deseado por parte de la placa Arduino. Su lenguaje es un conjunto de símbolos y reglas que se definen en una estructura de un algoritmo.

### 2.2.7. Sensor electroquímico

Es una familia de sensores utilizados para la detección de concentraciones de gases en el aire que podrían ser inflamables o tóxicos para la persona, poseen internamente un calentador que se encarga de elevar la temperatura interna provocando el cambio de valor en la resistencia (Luis Llamas, 2016).

Esta recubierto con una malla de acero inoxidable (Figura 11).

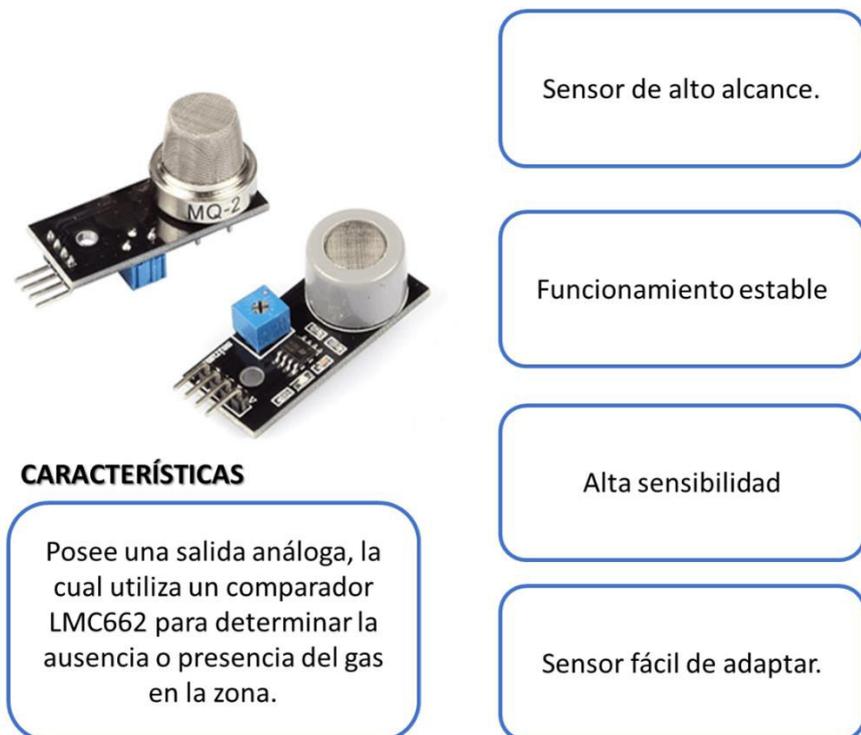


Figura 11. Sensores electroquímicos.

En la Tabla 8, se muestra la familia de sensores electroquímicos MQ y sus rangos de detección evaluados en ppm.

**Tabla 8. Concentración de gas relacionado al rango de detección.**

<b>SENSOR MQ</b>	<b>GASES QUE PUEDE DETECTAR</b>	<b>RANGO DE DETECCIÓN (ppm)</b>
MQ -2	Hidrogeno	300-5000
	Propano y GLP	200-5000
	Humo	No especificado
	Alcohol	100-2000
MQ-4	Metano	200-10000
MQ-9	GLP	500-10000
	Monóxido de carbono	20-2000
MQ-135	Amoniaco	100-300
	Alcohol	10-300
	Benceno	10-1000
	Dióxido de carbono	No especifico

**Fuente: Delgado y Marco**

#### **A. Sensor para la medición de humo**

El sensor está compuesto por un micro tubo Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y esta recubierto por una capa de acero inoxidable (Merino, 2017). El sensor electroquímico MQ-2 mide la concentración de humo con una alta sensibilidad y se caracteriza por tener funcionamiento estable. En la Tabla 9, se menciona las especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-2.

**Tabla 9. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-2.**

<b>ESPECIFICACIÓN</b>	<b>VALOR TÉCNICO</b>
Voltaje de funcionamiento	5v
Corriente de funcionamiento	150 Ma
Temperatura de funcionamiento	-20 ° C a 50 ° C
Concentración de oxígeno	21%
Potencia de consumo	800mW
Detección de partes por millón	300 a 10000ppm
Fiabilidad	Alta

**Fuente: Datasheet**

## B. Sensor para la medición de metano

El sensor electroquímico MQ-4 mide la concentración de gas metano ( $\text{CH}_4$ ) en la zona, tiene una rápida respuesta debido a su alta sensibilidad, la cual se varía mediante el uso del potenciómetro ubicado a la parte inversa del sensor. En la Tabla 10, se mencionan las especificaciones técnicas del sensor.

**Tabla 10. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-4.**

ESPECIFICACIÓN	VALOR TÉCNICO
Voltaje de funcionamiento	5v
Corriente de funcionamiento	150 mA
Temperatura de funcionamiento	-10 ° C a 50 ° C
Concentración de oxígeno	2% a 21%
Potencia de consumo	800mW

Fuente: Datasheet

## C. Sensor para la medición del monóxido de carbono

El sensor electroquímico MQ-9 mide la concentración de gas Monóxido de Carbono ( $\text{CO}$ ) en el ambiente, además cuenta con una rápida respuesta debido a su alta sensibilidad al mencionado gas. En la Tabla 11, se muestra las especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-9.

**Tabla 11. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-9**

ESPECIFICACIÓN	VALOR TÉCNICO
Voltaje de funcionamiento	5 voltios
Corriente de funcionamiento	150 mA
Temperatura de funcionamiento	-10 ° C a 50 ° C
Concentración de oxígeno	2% a 21%
Potencia de consumo	800mW

Fuente: Datasheet

#### D. Sensor para la medición del dióxido de carbono

El sensor electroquímico MQ-135 mide la concentración del gas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en el ambiente, cuenta con una rápida respuesta debido a su alta sensibilidad y se encuentra recubierto de una capa de acero inoxidable (Ortiz, 2017).

En la Tabla 12, se muestra las especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-135.

**Tabla 12. Especificaciones técnicas del sensor electroquímico MQ-135.**

ESPECIFICACIÓN	VALOR TÉCNICO
Voltaje de funcionamiento	5voltios
Corriente de funcionamiento	150 mA
Temperatura de funcionamiento	-20 ° C a 70 ° C
Concentración de oxígeno	2% a 21%
Potencia de consumo	800mW
Detección de partes por millón	10 a 200 ppm
Fiabilidad	Alta

Fuente: Datasheet

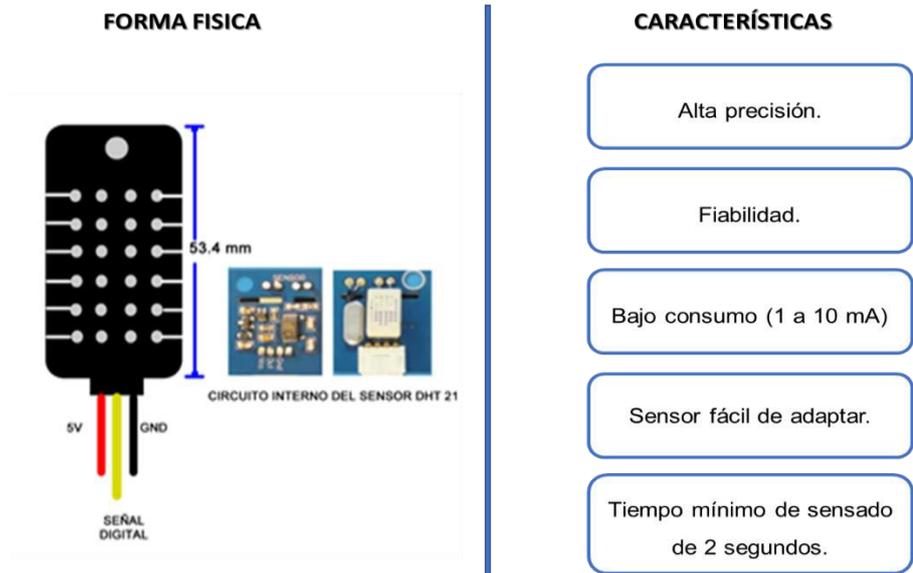
#### 2.2.8. Sensor para medir la temperatura y humedad

El sensor DHT21 permite medir la temperatura y la humedad relativa (Figura 12) el análisis las condiciones ambientales de la zona urbana mediante el uso de una señal calibrada (mínimo margen de error) utilizando una señal digital de salida y con funcionamiento estable (Naylamp Mechatronics,2018).

En la Tabla 13, se muestra las especificaciones técnicas del sensor para medir los parámetros de humedad y temperatura.

**Tabla 13. Especificaciones técnicas del sensor DHT21**

ESPECIFICACIÓN	VALOR TÉCNICO
Voltaje de funcionamiento	3.3 a 5 voltios
Rango de temperatura	-40°C a 80°C.
Precisión de la temperatura	±0.5%
Temperatura de funcionamiento	-20 ° C a 70 ° C
Rango de humedad	0 a 100%
Precisión de la humedad	±0.5%



**Figura 12. Sensor DHT21**

### 2.2.9. Sensor para medir las partículas en suspensión

Sensor utilizado para la detección óptica de concentración de material particulado en el aire (Figura 13).

Sensibilidad de 0.5 por cada 0.1mg por cada metro cubico, además la implementación de este sensor dentro del dispositivo permitirá analizar la relación entre el valor de temperatura y la concentración de partículas dentro de la zona (Caicedo, 2017).



**Figura 13. Sensor para la medición de partículas en suspensión.**

Fuente: Campos

### 2.2.10. Servicio en la Nube

Servicio web desarrollado para ofrecer diferentes ventajas a los usuarios como: el registro y almacenamiento de datos en la Nube, para interactuar (control y reportes constantes de lectura por parte de los sensores y actuadores utilizando el protocolo de comunicación MQTT y permite a los usuarios realizar proyectos de Internet de las Cosas (Figura 14).

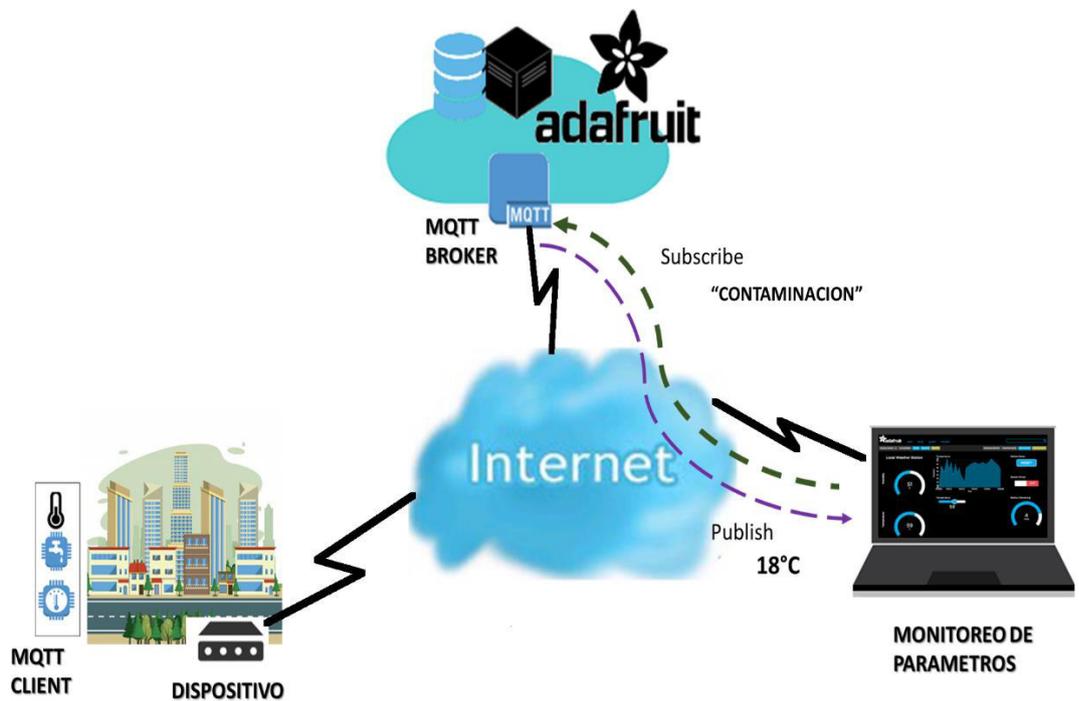


Figura 14. Servicio Web en la nube.

Fuente: Adafruit IO

## **B. MARCO METODOLÓGICO**

### **2.3.1. Tipo de investigación**

La presente tesis es de aplicación tecnológica donde se determina una solución ante el problema de riesgo ambiental con potencial peligro para la vida de miles de personas. Esta problemática afecta la calidad de vida por el aumento de las emisiones por factores industriales y vehicular, lo que conlleva a proponer la implementación del dispositivo Internet de las Cosas y realizar el análisis necesario del nivel de contaminación para cumplir con dicho propósito de mantener un monitoreo en tiempo real (basado en lecturas constantes).

### **2.3.2. Metodología de investigación**

- A.** El dispositivo desarrollado se evalúa mediante la toma de pruebas de condiciones de contaminación en diferentes zonas urbanas, en donde según estudios de la OMS y entidades nacionales indican el incremento de concentraciones de contaminantes en el aire. Así mismo, se evalúa principalmente en lugares críticos donde diariamente se desplaza un gran número de personas como: las avenidas de Lima Metropolitana, lugares aledaños a los asentamientos humanos, avenidas aledañas a la vía Panamericana y Evitamiento, y otros.
- B.** Las zonas de medición se seleccionan en base a la cantidad de contaminación que generan los vehículos y las fábricas cercanas, así como según la densidad poblacional circuncidante.
- C.** Para la medición de la contaminación se emplean dispositivos de censado del nivel de concentración de las partículas en suspensión. Estos se basan en el principio de respuesta electroquímica.

Los voltajes son asociados a la concentración contaminante y gases del efecto invernadero que se envían a la plataforma del microcontrolador Arduino.

**D.** El desarrollo del proyecto se basa en el siguiente proceso para la realización de la investigación:

- La determinación de los requerimientos: implementación a bajo precio, sensores calibrados con mínimo margen de error, medición y obtención de datos en tiempo real, monitoreo en una plataforma de visualización, simplicidad de funcionamiento para el usuario.
- El diseño e implementación del circuito electrónico aplicando diferentes softwares como: Fritzing para la simulación de componentes electrónicos y del microcontrolador.
- Programación en lenguaje C/C++ mediante un algoritmo para establecer las funciones de cada sensor electroquímico y envió de datos al microcontrolador y al servicio web de almacenamiento, procesamiento y visualización de datos mediante el uso de un servicio en la nube.
- Pruebas operativas y de validación exponiendo a los sensores a concentraciones elevadas de gases a los que tienen alta sensibilidad y utilizando otros equipos, comparando los valores para analizar los márgenes de error.
- Selección de zonas críticas de medición analizando las zonas con mayor densidad poblacional y datos obtenidos por entidades nacionales de problemas que contribuyan con el incremento de contaminación en el aire.
- Mediciones de campo se realizarán en varios periodos de tiempo en diferentes lugares ya mencionados.
- Transmisión y almacenamiento de datos mediante el uso de Internet de las Cosas conectando el dispositivo de IoT al Wifi.
- Visualización de datos mediante las mediciones de campo en las distintas zonas urbanas.

- Análisis de datos que se obtendrán de los sensores y serán analizados desde Google Colab utilizando el lenguaje de programación Python.

## **C. MARCO LEGAL**

### **2.4.1. Ley del medio ambiente en el Perú**

#### **A. Artículo I**

Se refiere al derecho que tiene la persona a habitar en un ambiente saludable y que así mismo también lo proteja, asegurando el desarrollo sostenible de la comunidad y del ecosistema.

#### **B. Artículo XXXI**

Se refiere al control y regulación de los niveles de concentraciones por factores físicos, químicos y naturales que dañan los recursos vitales y esenciales para el ser humano como: el agua, aire, suelo.

#### **C. Artículo CXI**

Se menciona la importancia de la conservación y preservación de la calidad de aire y otros recursos correspondientes en las zonas que coloquen en riesgo la salud de la persona y el ecosistema.

### **2.4.2. IEEE 802.11 b/g/n**

Es un estándar del protocolo de comunicación IEEE, para el sistema de comunicación inalámbrica (Wi-Fi).

#### **A. IEEE 802.11 b**

Cuenta con una velocidad máxima de transmisión de 11 Mbps y trabaja con una frecuencia de 2.4 GHz.

#### **B. IEEE 802.11 g**

Cuenta con una velocidad máxima de transmisión de 54 Mbps y trabaja con una frecuencia de 2.4 GHz.

#### **C. IEEE 802.11 n**

Cuenta con una velocidad máxima de transmisión de 600 Mbps y trabaja con una frecuencia de 2.4 y 5 GHz.

#### D. ARQUITECTURA

El sistema se encuentra estructurado en base a la implementación de un dispositivo de Internet de las Cosas (IoT) conectado al Wifi y utiliza el protocolo de comunicación MQTT para el envío de datos en tiempo real. Permitiendo compartir la información y visualizándose mediante una plataforma o tablero (Figura 15).

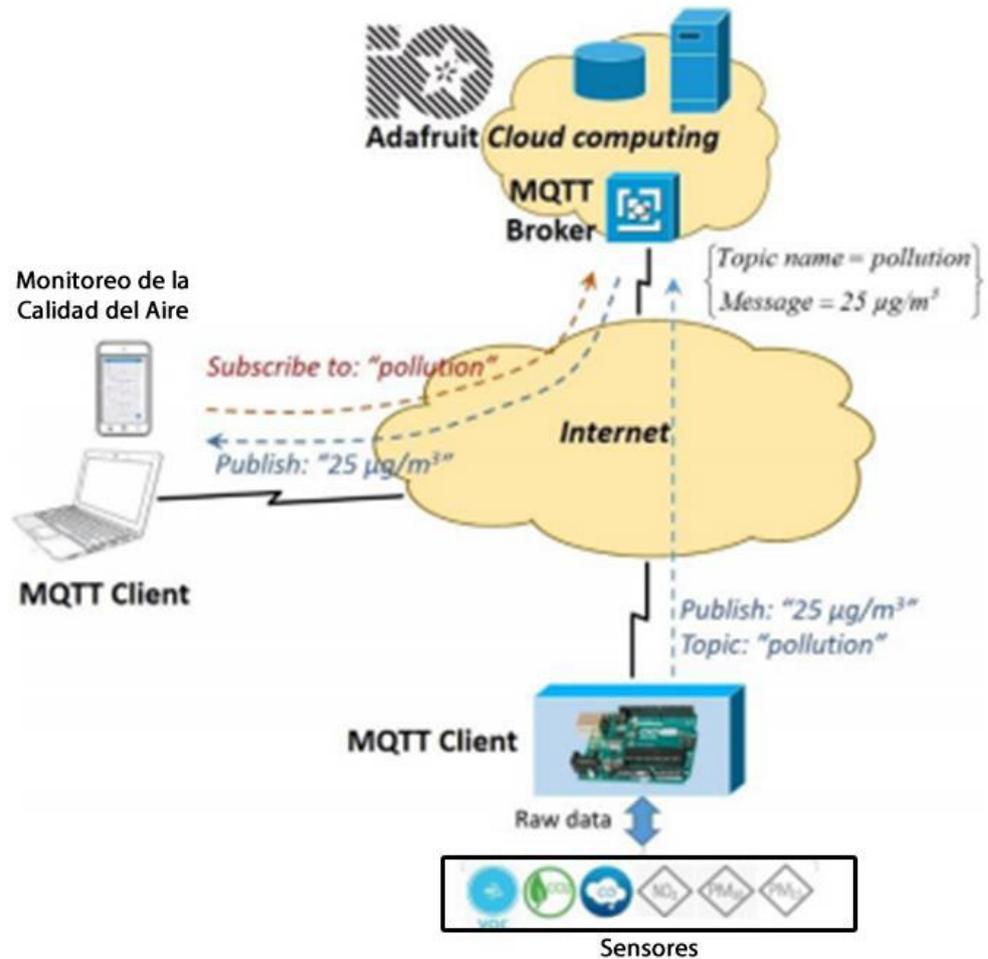


Figura 15. Arquitectura del dispositivo de Internet de las Cosas.

Fuente: Medina, Mujaico y Soto.

# **CAPÍTULO III: DESARROLLO DEL DISPOSITIVO DE IOT**

### 3.1. DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN Y MONITOREO DE CALIDAD DE AIRE EN ZONAS URBANAS A NIVEL NACIONAL.

En la actualidad existen cuatro métodos para medir la calidad de aire de una zona de análisis, requiriéndose diversos tipos de instrumentos y equipos (Ministerio del Ambiente, 2019).

En la Tabla 14, se muestra los métodos que se aplican para realizar estudios de la calidad de aire en las diferentes zonas.

**Tabla 14. Métodos para el monitoreo de calidad de aire.**

<b>MÉTODO</b>	<b>DEFINICIÓN</b>
<b>MÉTODO PASIVO</b>	El método consiste en capturar las sustancias contaminantes que se encuentran en el aire utilizando materiales absorbentes como el uso de tubos pasivos para luego analizarlos en un laboratorio, son confiables. Se realiza este método mediante un proceso físico de difusión. Se caracteriza por el bajo precio y mayormente lo utilizan los países en desarrollo, este método es utilizado en periodos largos.
<b>MÉTODO ACTIVO</b>	El método consiste en la captura de sustancias contaminantes en al aire por bombeo mediante una recolección de muestreo que utiliza métodos químicos y físicos para obtener aire contaminado en una zona. Se utiliza fundamentalmente instrumentos o equipos con circuitos eléctricos complejos y cuenta con un rendimiento confiable y de alta operatividad y tiene con una base de datos de las muestras que va recopilando.  Una de sus principales desventajas es que requieren que se realice un proceso de análisis en un laboratorio especializado.
<b>MÉTODO AUTOMÁTICO</b>	Este método consiste en utilizar equipos con alta resolución para la medición para periodos largos (24 horas), tomando muestras en tiempo real con un alto rendimiento.  Realizan la transformación de mediante una propiedad (química y física) utilizada para el monitoreo de gases.  Su principal desventaja es el elevado precio de estos equipos e instrumentos para realizar este tipo de método.
<b>MÉTODO DEL USO SENSORES REMOTOS</b>	Se implementan en equipos que se utilizan para el monitoreo de la calidad de aire, su adquisición es de precio elevado y cuenta con diferentes aplicaciones y con un registro para el almacenamiento de datos.

### 3.1.1. Equipamiento de monitoreo de la calidad de aire

#### A. Equipo de alto volumen para medir las partículas en suspensión.

El muestreador utilizado para succionar grandes concentraciones de aire mediante su cabecera, la cual tiene una bomba de succión con un flujo constante de  $1.13 \text{ m}^3/\text{min}$ . Este equipo realiza un análisis confiable basado en el método de referencia de la Agencia de Protección Ambiental (EPA) correspondiente al monitoreo de la calidad de aire con un tiempo de operatividad máxima de 24 horas (Enviroequip, 2019).

Tiene un microcontrolador semiautomático y filtros (Figura 16) para realizar la toma de muestras en las diferentes zonas. La concentración de partículas utilizando este equipo se realiza calculando la diferencia de pesos del filtro de baja resistencia antes y después de las pruebas de campo y el total del flujo del aire (Guevara, 2017).

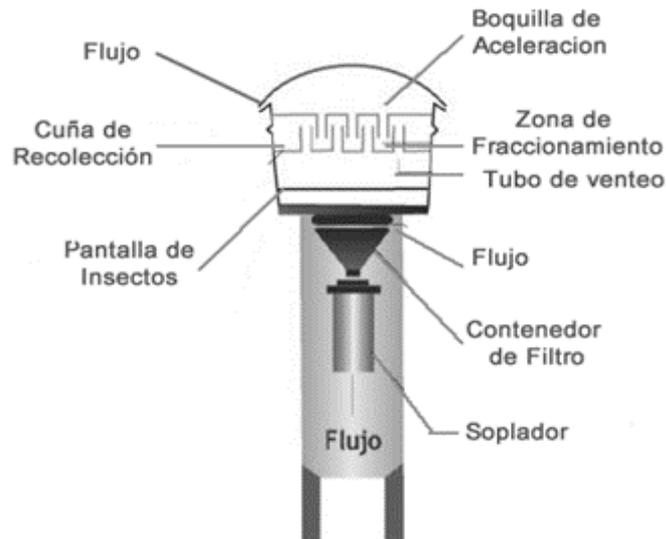


Figura 16. Equipo muestreador de partículas en suspensión.

#### B. Equipo para la medición de partículas en suspensión $\text{PM}_{2.5}$ y $\text{PM}_{10}$ .

Dispositivo portátil utilizado para la medición de concentraciones de material particulado suspendido en el aire y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), caracterizado en medir

concentraciones masivas PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>5</sub> y PM<sub>10</sub>. Tiene con un rango de medición de 0.3 a 25 micrómetros (Figura 17). Su flujo de muestreo es de 2.83 l/min y permite realizar un registro de datos de los parámetros de medición incluyendo el tiempo y el espacio en donde se realizó la medición de la concentración. Cuenta con variados modos funcionamiento: manual, acumulativo automático y su tiempo de operatividad máximo de 10 horas.



**Figura 17. Equipo de medición PCE-PQC-21EU.**

**Fuente: Imrotek Corporación S.A.C.**

### **C. Equipo para la medición del monóxido y dióxido de carbono.**

Elemento portátil, utilizado para evaluar la calidad de aire mediante una sonda. Realiza mediciones de concentraciones de monóxido y dióxido de carbono de manera eficiente de rápida respuesta y preciso en las zonas abiertas y cerradas (Figura 18).

Se caracteriza por la variedad de funcionalidad que ofrece a los usuarios desde mapeos de zonas calculando las concentraciones, generar alarmas basadas en el umbral permisible, amplio almacenamiento para el registro de datos, cuenta con su software para el uso del instrumento y una interfaz para los usuarios en los diferentes idiomas (Fluke, 2019).



Figura 18. Equipo Air Meter Fluke 975.

Fuente: Fluke

### 3.2. CARACTERIZACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS E INTERNET DE LAS COSAS.

#### 3.2.1. Caracterización de los sensores electroquímicos

Para el proceso de calibración del sensor electroquímico se ha considerado dos etapas, tal como se muestra en la Figura 19, lo cual ha servido para mejorar la confiabilidad en los datos requeridos. Se inicia un proceso de precalentamiento con el encendido del sensor de 24 horas utilizando un voltaje aplicado de 5 voltios.

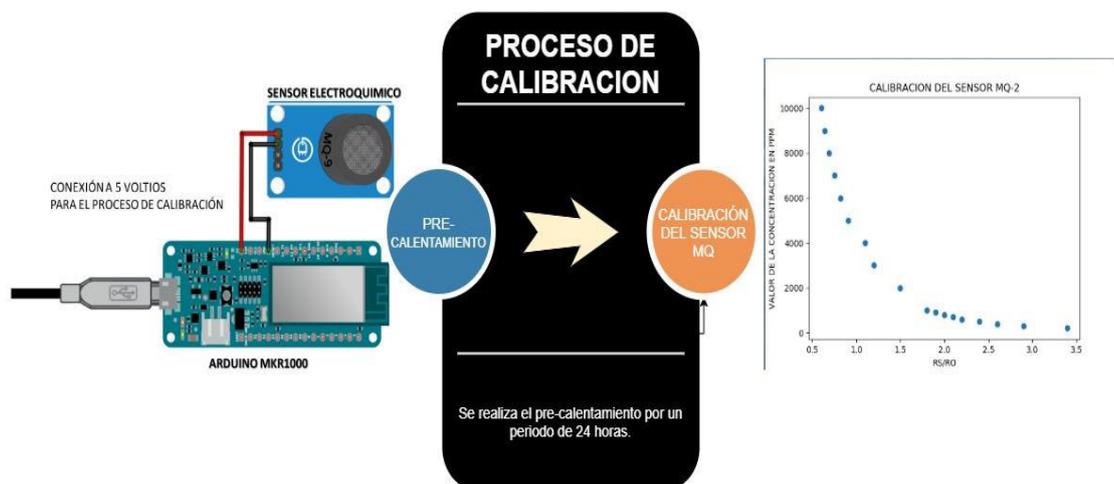


Figura 19. Proceso de calibración del sensor electroquímico.

Posteriormente, se trabaja con un primer código en el IDE de Arduino basado en la utilización de la función “for” para un análisis de la toma de muestras y obtener un promedio cuando

se ejecute la programación en la placa Arduino y obtendrá posteriormente el valor de “Rs” en la calibración de cada sensor electroquímico MQ que será descrita a continuación.

### A. Calibración del sensor electroquímico MQ-2

En esta parte, se realizó la calibración del sensor electroquímico después de haber realizado el precalentamiento requerido, mencionando que el sensor realiza la medición con una alta sensibilidad al humo (300-10000 ppm) y utilizar el valor de resistencia de carga ( $R_L$ ) de  $1K\Omega$ . En la Figura 20, se muestra la curva de sensibilidad del sensor MQ-2.

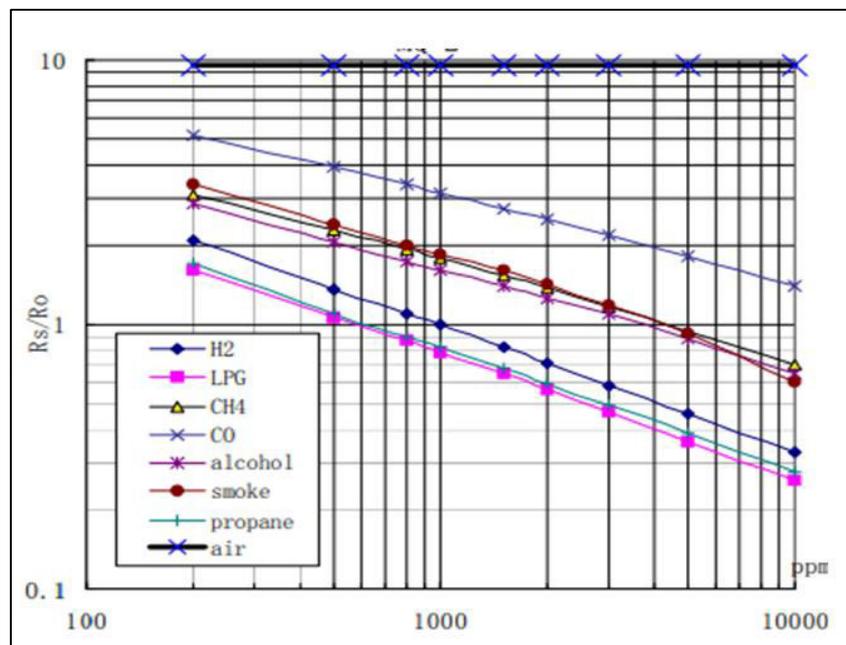


Figura 20. Curva de sensibilidad sensor MQ-2.

Fuente: Datasheet

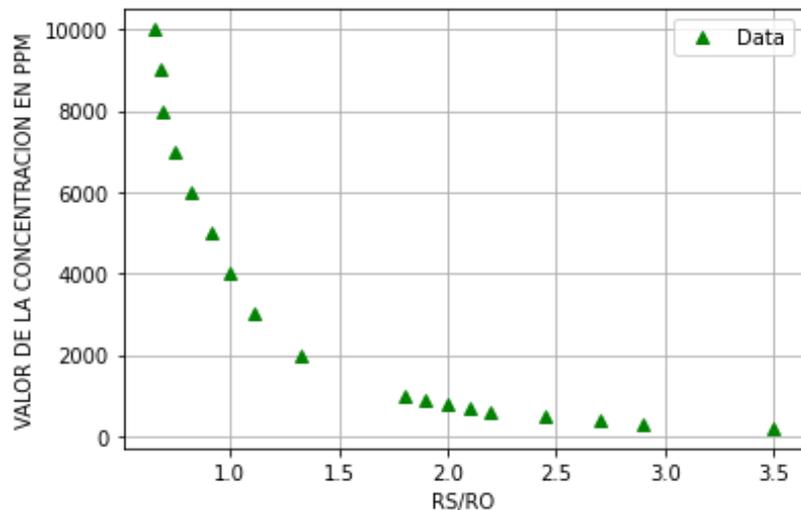
- **Ajuste del sensor MQ-2**

Se ordenan los puntos significativos en cada uno de los ejes con la finalidad de realizar el análisis para la ecuación potencial y analizar el margen de error para la calibración del sensor en mención. En la Tabla 15, se muestra cada uno de los puntos en correspondiente en el eje “X” con el valor de “ $R_s/R_o$ ” y el eje “Y” con el valor de la concentración en humo en ppm.

**Tabla 15. Coordenadas para la curva de sensibilidad del sensor MQ-2.**

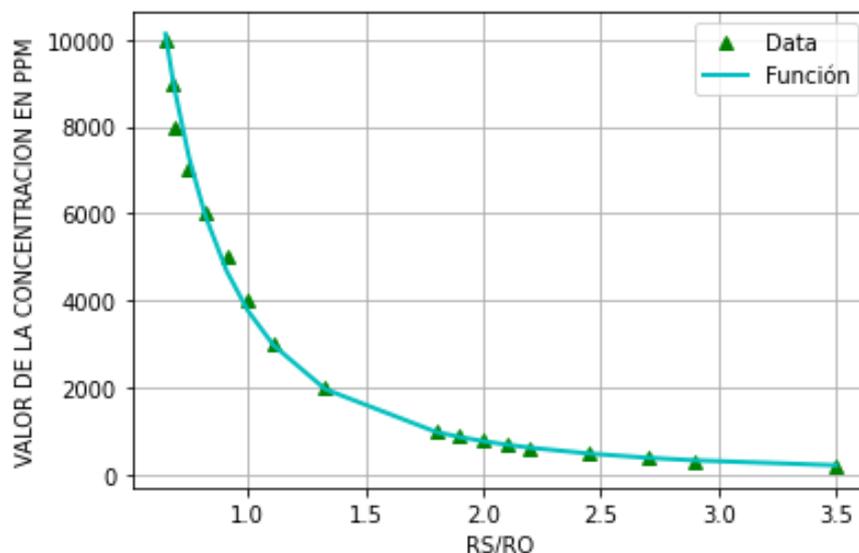
$\frac{R_s}{R_o}$	VALOR DE LA CONCENTRACION (ppm)
3.50	200
2.90	300
2.70	400
2.45	500
2.20	600
2.10	700
2.00	800
1.90	900
1.80	1000
1.33	2000
1.11	3000
1.00	4000
0.91	5000
0.82	6000
0.75	7000
0.69	8000
0.68	9000
0.65	10000

En este sentido, en la Figura 21, muestra los puntos mencionados en las coordenadas correspondientes según los especifica la curva de sensibilidad.



**Figura 21. Calibración del sensor MQ-2.**

Seguidamente, (Figura 22) se ha operado con los puntos para obtener la ecuación potencial en donde el valor de "Y" deriva del valor de concentración en el ambiente.



**Figura 22. Función potencial del sensor MQ-2.**

El valor de “X” corresponde al valor “ $R_s/R_o$ ”, obteniendo la siguiente ecuación:

$$Y = 3770.3 X^{-2.293} \quad (4)$$

Reemplazando:

$$\text{Concentración de humo} = 3770.3 \left( \frac{R_s}{R_o} \right)^{-2.293} \quad (5)$$

En donde:

- $R_s$ : Resistencia del sensor obtenido en la primera programación.
- $R_o$ : Resistencia del sensor MQ-2.

Posteriormente, esta ecuación se desarrollará en la programación en el IDE de Arduino para el funcionamiento del dispositivo de Internet de las Cosas (Anexo B).

## **B. Calibración del sensor electroquímico MQ-4**

Se ha efectuado la calibración del sensor electroquímico después de haber realizado el precalentamiento requerido, para una alta sensibilidad al metano (200-10000 ppm) y utilización de una resistencia de carga ( $R_L$ ) de 1K. Así en la Figura 23 se representa la curva característica de la

sensibilidad para la calibración del gas. Se ha ordenado los puntos en dimensiones adecuadas, con lo que se calculará la ecuación potencial correspondiente y el análisis del margen de error.

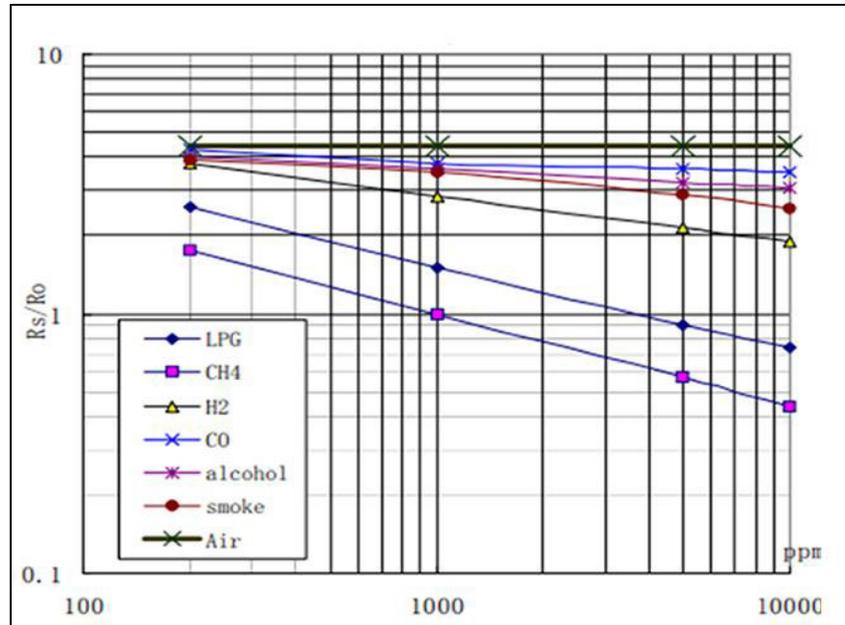


Figura 23. Curva de sensibilidad MQ-4.

Fuente: Datasheet

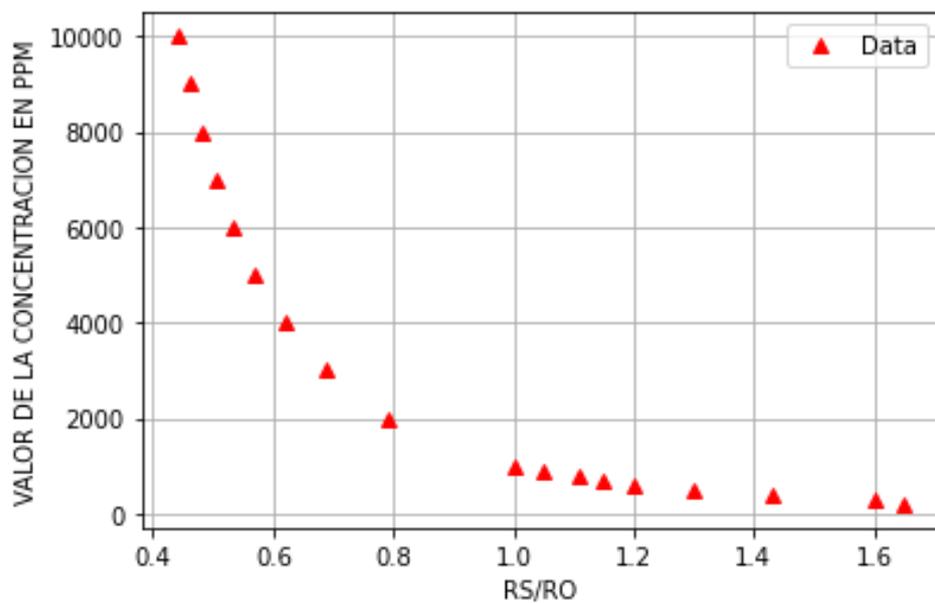
- **Ajuste del sensor MQ-4**

En la Tabla 16, se ha ordenado los puntos según la curva de sensibilidad y se utilizará posteriormente para el cálculo de la ecuación.

**Tabla 16. Coordenadas para la curva de sensibilidad del sensor MQ-4.**

$\frac{R_s}{R_o}$	VALOR DE LA CONCENTRACION (ppm)
1.65	200
1.60	300
1.43	400
1.30	500
1.20	600
1.15	700
1.11	800
1.05	900
1.00	1000
0.79	2000
0.69	3000
0.62	4000
0.57	5000
0.53	6000
0.50	7000
0.48	8000
0.46	9000
0.44	10000

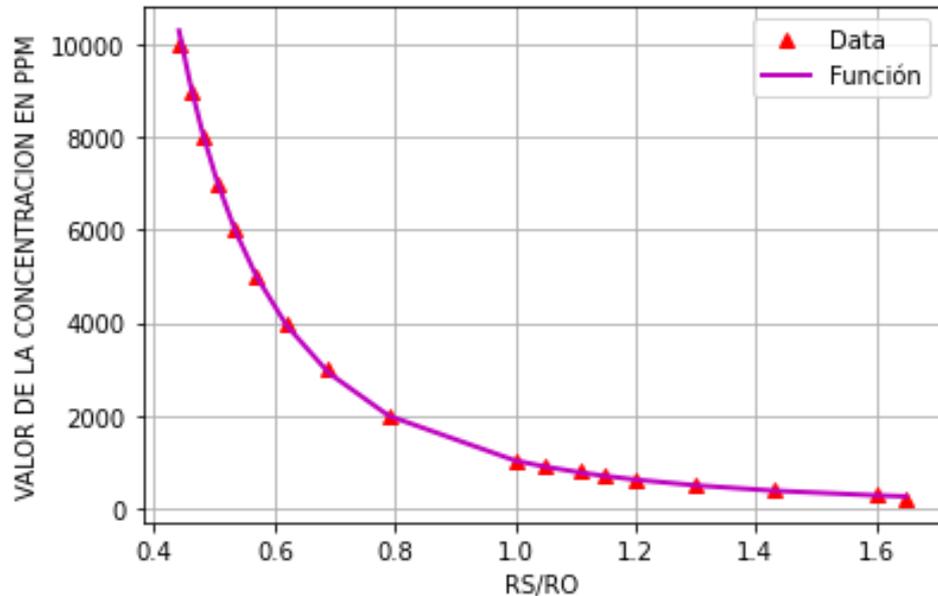
En la Figura 24, se muestra los puntos mencionados en las coordenadas correspondientes.



**Figura 24. Calibración del sensor MQ-4.**

Posteriormente, (Figura 25) se ha utilizado los puntos para obtener la ecuación potencial, en donde los

parámetros a analizar es el valor de la concentración en el ambiente y el “ $R_s/R_o$ ”.



**Figura 25. Ecuación de la función potencial para el sensor MQ-4**

Los valores en “X” corresponde a los valores al  $R_s/R_o$  y en “Y” corresponden al valor de concentración de metano.

$$Y = 1022.7 X^{-2.821} \quad (6)$$

Obteniendo la fórmula:

$$\text{Concentración de metano} = 1022.7 \left( \frac{R_s}{R_o} \right)^{-2.821} \quad (7)$$

En donde:

- $R_s$ : Resistencia del sensor obtenido en la primera programación.
- $R_o$ : Resistencia del sensor MQ-4.

Posteriormente, esta ecuación se desarrollará en la programación en el IDE de Arduino para el funcionamiento del dispositivo de Internet de las Cosas (Anexo B).

### C. Calibración del sensor electroquímico MQ-9

Se ha realizado la calibración del sensor electroquímico para la medición del monóxido de carbono utilizado por la alta

sensibilidad al dicho gas, por lo que se ha empleado la curva de sensibilidad (Figura 26).

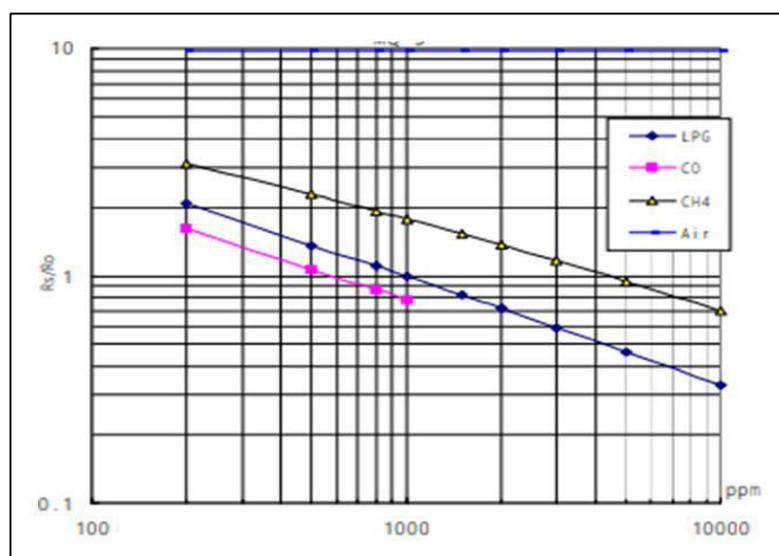


Figura 26. Curva de sensibilidad MQ-9.

Fuente: Datasheet

- **Ajuste del sensor MQ-9**

Se ha ordenado los puntos para realizar un análisis para la ecuación potencial y analizar el margen de error para la calibración del sensor en mención. En la Tabla 17, se indica cada uno de los puntos en correspondiente eje (X, Y) correspondientes a la curva de sensibilidad del gas relacionados con los valores de “ $R_s/R_o$ ” y concentración del gas para la ejecución y obtención de la ecuación potencial.

Tabla 17. Coordenadas para la curva de sensibilidad del sensor MQ-9.

$\frac{R_s}{R_o}$	VALOR DE LA CONCENTRACION (ppm)
1.70	200
1.40	300
1.20	400
1.11	500
0.98	600
0.92	700
0.87	800
0.83	900
0.78	1000

Luego, se ha colocado los puntos en sus respectivas coordenadas (Figura 27) para el análisis de la concentración de monóxido de carbono (CO).

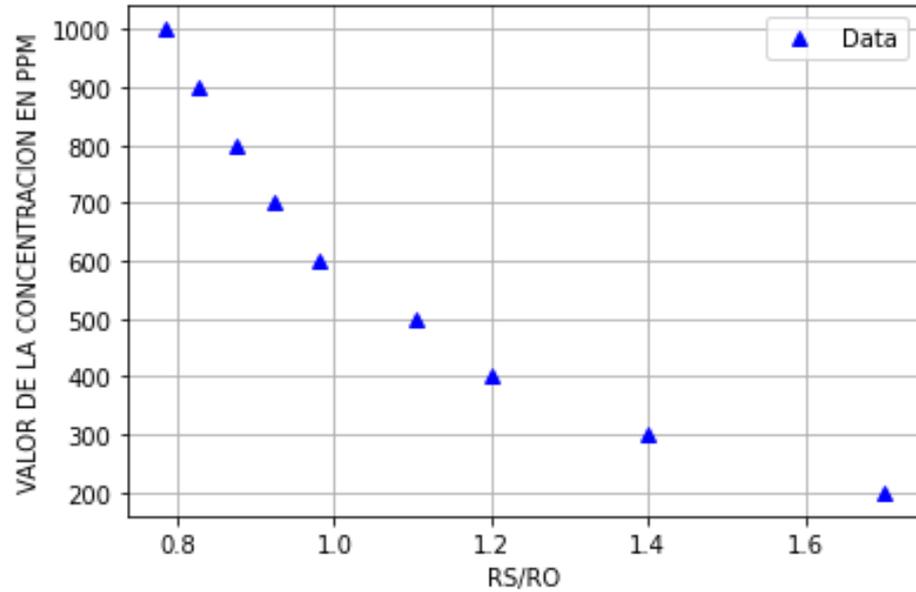


Figura 27. Calibración del sensor MQ-9.

Posteriormente, (Figura 28) se ha utilizado los puntos para obtener la ecuación potencial en donde el valor de "Y" es el valor de la concentración de monóxido de carbono (CO) en el ambiente.

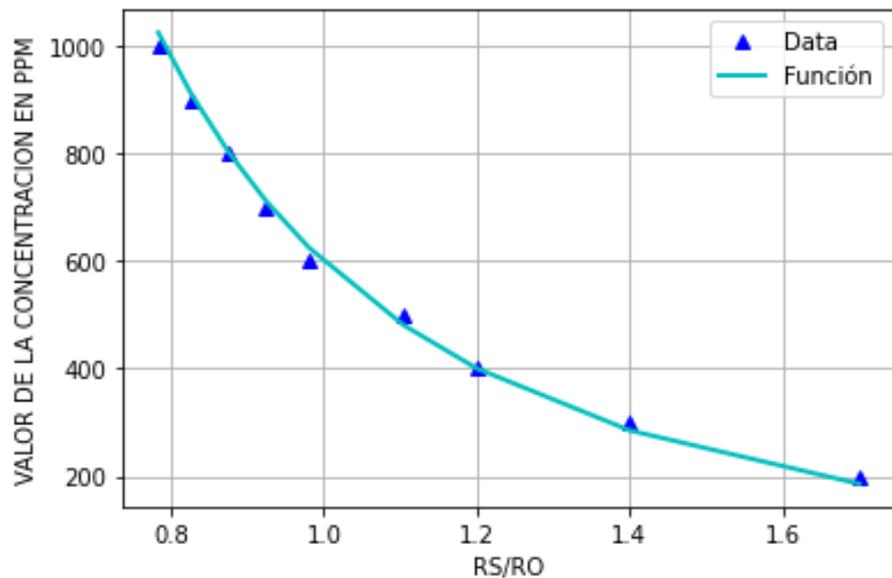


Figura 28. Función potencial para el sensor MQ-9.

En la ecuación, se obtuvo el valor total de la concentración de monóxido de carbono (CO) y el valor de “ $R_s/R_o$ ”.

$$Y = 599.37 X^{-2.208} \quad (8)$$

Obteniendo la fórmula:

$$\text{Concentración de CO} = 599.37 \left( \frac{R_s}{R_o} \right)^{-2.208} \quad (9)$$

En donde:

- $R_s$ : Resistencia del sensor obtenido en la primera programación.
- $R_o$ : Resistencia del sensor MQ-9.

Posteriormente, esta ecuación se desarrollará en la programación en el IDE de Arduino para el funcionamiento del dispositivo de Internet de las Cosas (Anexo B).

#### D. Calibración del sensor electroquímico MQ-135

Se ha efectuado la calibración del sensor para la medición de dióxido de carbono ( $CO_2$ ) para el análisis de la calidad de aire de la zona. La curva de sensibilidad del sensor MQ-135 se representa de color azul para la concentración del aire, en donde el valor máximo es de 200 ppm (Figura 29).

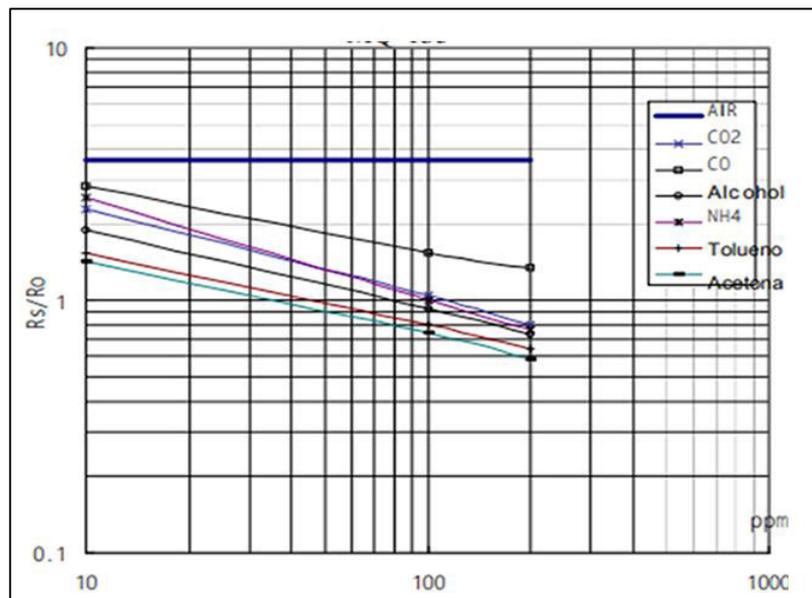


Figura 29. Curva de sensibilidad MQ-135.

Fuente: Datasheet

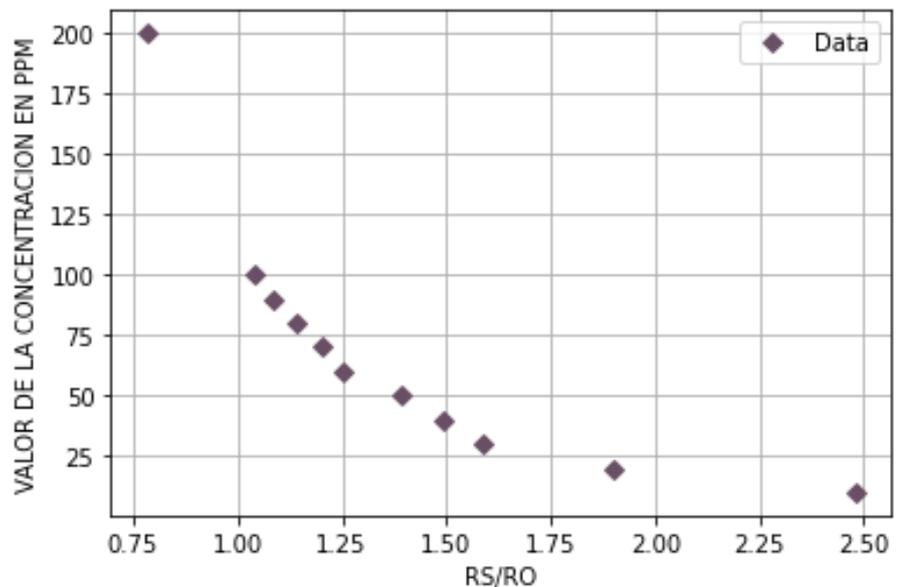
- **Ajuste del sensor MQ-135**

Se ha ordenado cada uno de los puntos en respectivas dimensiones para calcular la ecuación potencial correspondiente y el análisis para el cálculo del margen de error (Tabla 18).

**Tabla 18. Coordenadas de la curva de sensibilidad del sensor MQ-135.**

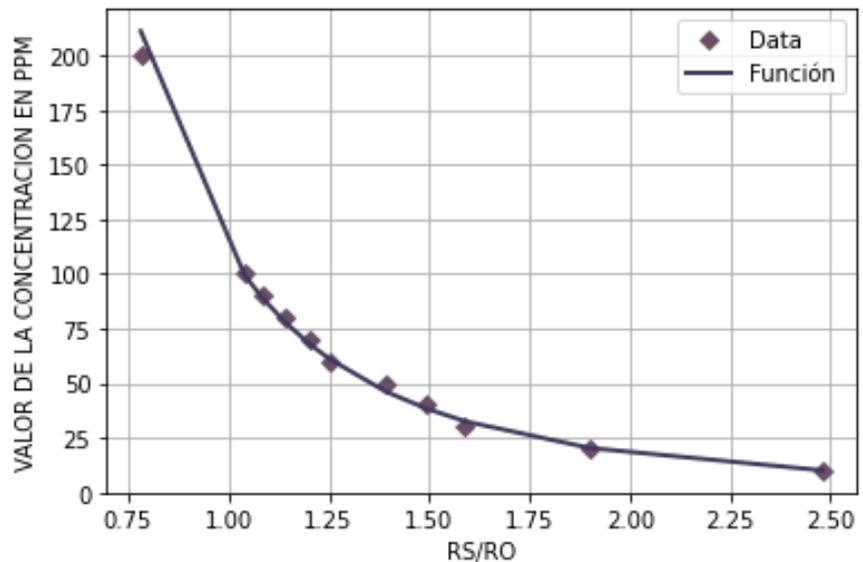
$\frac{R_S}{R_0}$	VALOR DE LA CONCENTRACION (ppm)
2.40	10
1.90	20
1.59	30
1.49	40
1.39	50
1.25	60
1.20	70
1.14	80
1.09	90
1.04	100
0.78	200

Posteriormente, se colocarán los puntos en sus respectivas coordenadas (Figura 30) para el análisis de las concentraciones en unidades de ppm.



**Figura 30. Calibración del sensor MQ-135.**

Se utilizaron los puntos para obtener la ecuación potencial en donde el valor de “Y” deriva del valor de concentración del dióxido de carbono en el ambiente (Figura 31).



**Figura 31. Función potencial para el sensor MQ-135.**

En la ecuación se obtiene el valor total de la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el valor de “R<sub>s</sub>/R<sub>o</sub>”.

$$Y = 110.16 X^{-2.63} \quad (10)$$

Obteniendo la fórmula:

$$\text{Concentración de } CO_2 = 110.16 \left( \frac{R_s}{R_o} \right)^{-2.63} \quad (11)$$

En donde:

- R<sub>s</sub>: Resistencia del sensor obtenido en la primera programación.
- R<sub>o</sub>: Resistencia del sensor MQ-135

Posteriormente, esta ecuación se desarrollará en la programación en el IDE de Arduino para el funcionamiento del dispositivo de Internet de las Cosas (Anexo B).

### 3.2.2. Caracterización del sensor de partículas

Se ha efectuado la calibración del sensor de partículas en suspensión analizando la gráfica de la densidad de polvo y el voltaje de salida (Figura 32) brindada por la hoja técnica del sensor.

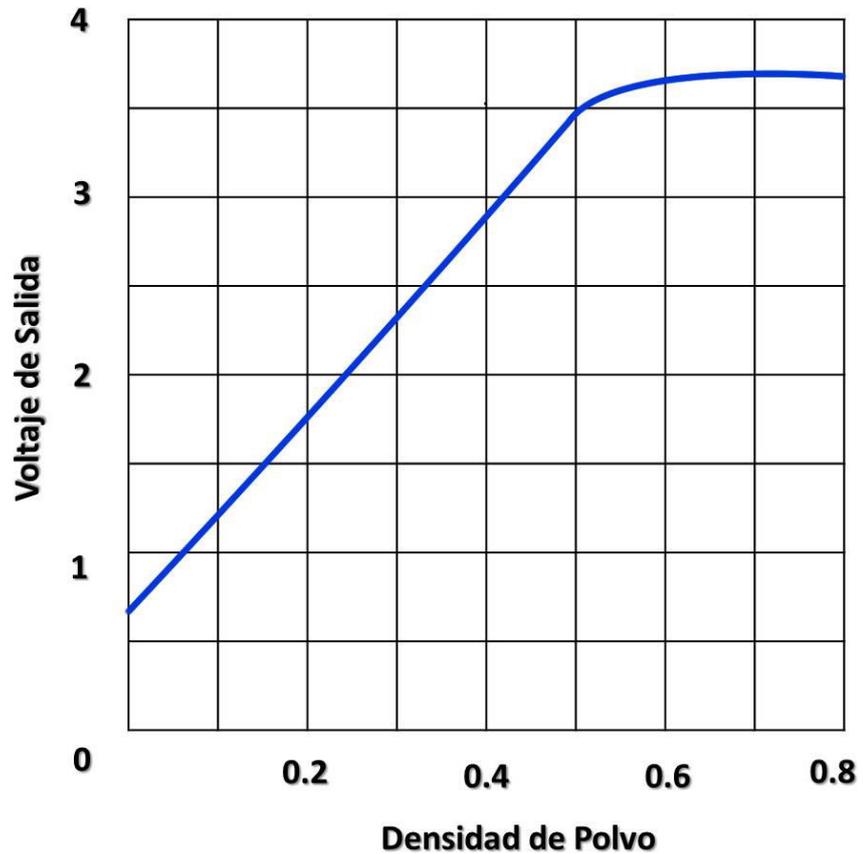


Figura 32. Voltaje de Salida vs. Densidad del polvo.

Fuente: Datasheet

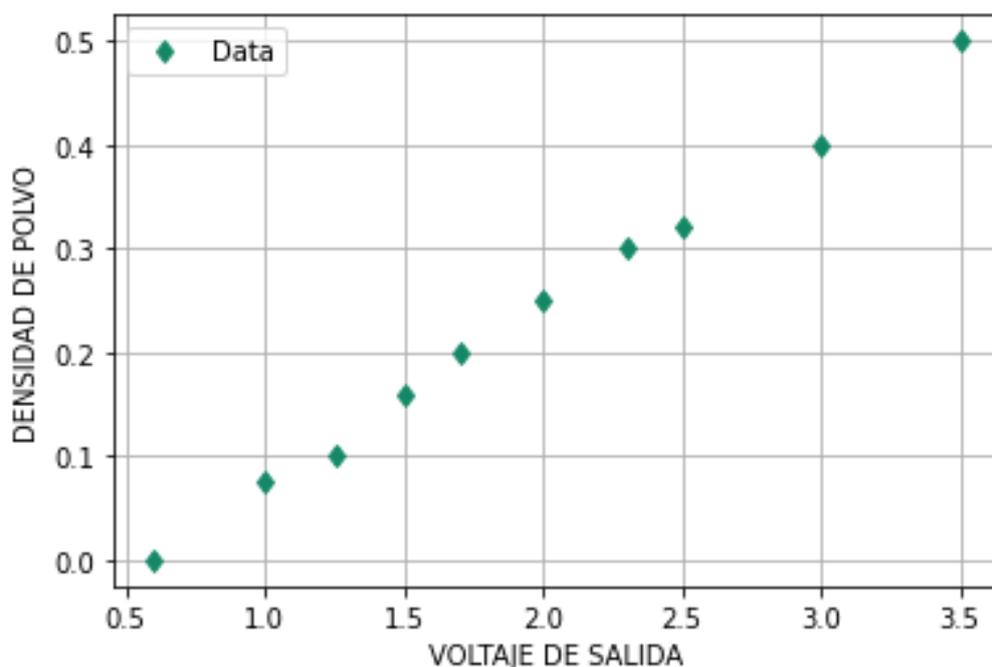
- **Ajuste del sensor de partículas en suspensión**

Se ordenan los puntos significativos en cada uno de los ejes con la finalidad de realizar el análisis con el cálculo de la función lineal. En la Tabla 19, se muestra cada uno de los puntos en correspondiente en el eje "X" con el valor de "densidad de polvo" y el eje "Y" correspondiente al voltaje de salida.

**Tabla 19. Coordinadas para el sensor de suspensión de partículas.**

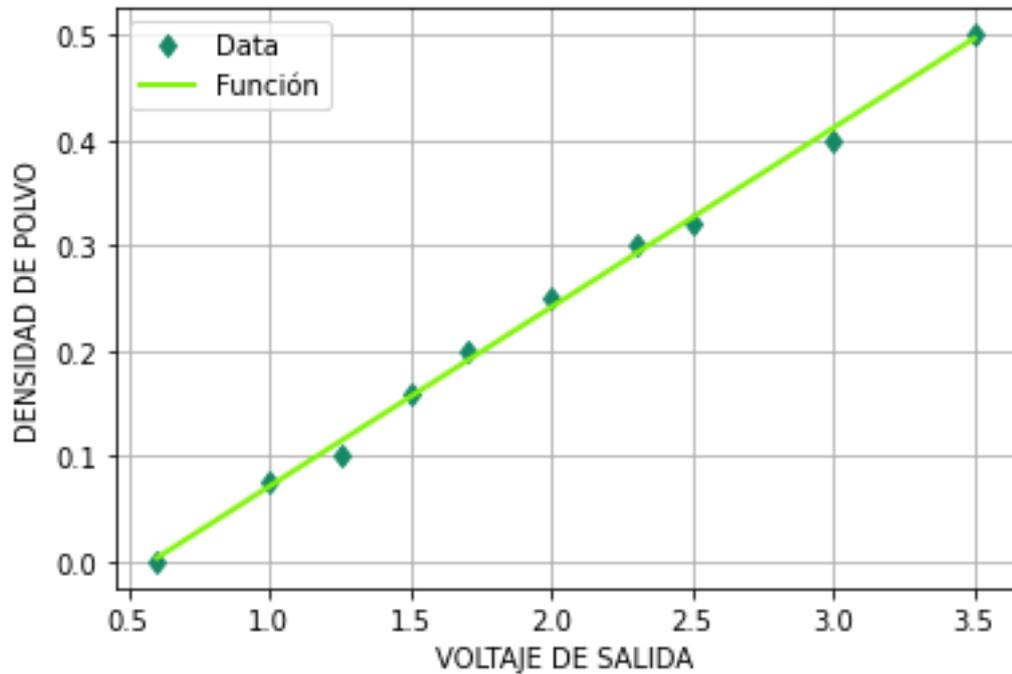
<b>VOLTAJE DE SALIDA (V)</b>	<b>DENSIDAD DE POLVO (mg/m<sup>3</sup>)</b>
0.60	0
1.00	0.07
1.25	0.10
1.50	0.16
1.70	0.20
2.00	0.25
2.30	0.30
2.50	0.32
3.00	0.40
3.50	0.50
3.68	0.60

Luego, se ha colocado los puntos en sus respectivas coordenadas (Figura 33) para el análisis de la función lineal, basado en los puntos ya mencionados.



**Figura 33. Puntos de data del sensor.**

Se utilizaron los puntos para obtener la ecuación lineal, tomando como referencia los puntos ya mencionados (Figura 34).



**Figura 34. Función Lineal.**

En la ecuación, se obtuvo el valor total de la densidad de polvo en base al voltaje de salida.

$$Y = 0.17(X) - 0.0985 \quad (12)$$

Obteniendo la ecuación 13:

$$\text{Densidad de polvo} = 0.17(V_s) - 0.0985 \quad (13)$$

En donde:

- $V_s$ : Voltaje de salida por parte del sensor.

Posteriormente, esta ecuación se desarrollará en la programación en el IDE de Arduino para el funcionamiento del dispositivo de Internet de las Cosas (Anexo B).

### 3.3. DIAGRAMA DE BLOQUES DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE DISPOSITIVO DE INTERNET DE LAS COSAS.

El proceso de funcionamiento del dispositivo de Internet de las Cosas implica la correcta interacción de los sensores con el microcontrolador para la medición de los diversos parámetros climatológicos, los gases del efecto invernadero y los contaminantes que afectan a las zonas urbanas, se muestra en la Figura 35.

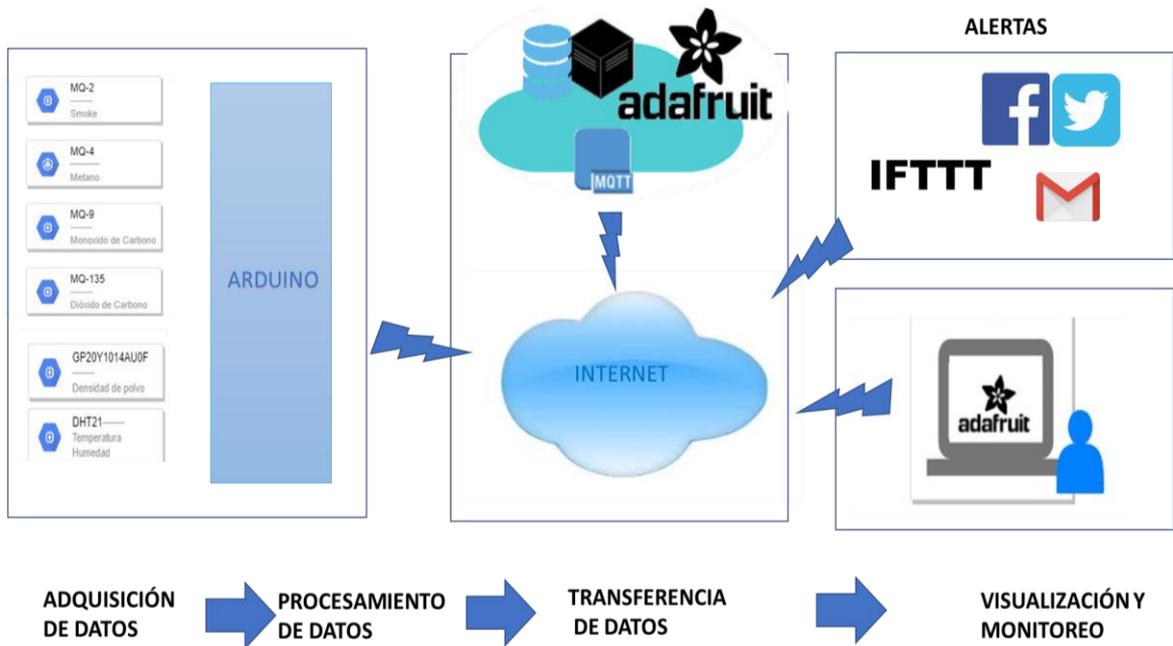


Figura 35. Diagrama de bloques del dispositivo de IoT.

#### 3.3.1. Adquisición de datos

La adquisición de datos correspondiente a las lecturas de las variables de los elementos climatológicos (temperatura y humedad), gases del efecto invernadero (dióxido de carbono, metano) y los contaminantes (monóxido de carbono y partículas en suspensión) mediante el uso de sensores que se encontrarán sensando de manera continua el ambiente (Figura 36).



**Figura 36. Adquisición de datos.**

### **3.3.2. Procesamiento de datos**

Utilizando la conexión a Internet a través de del Wifi se realizará la transmisión de datos al servicio de procesamiento en la Nube, donde se programa cada variable para cada parámetro establecido en el IDE de Arduino.

### **3.3.3. Envió de datos a la nube**

Los datos obtenidos quedarán registrados y almacenados en la Nube correspondiente al servicio web de Adafruit IO mediante el uso de una cuenta de dicho servicio. El intercambio de información se basará en el protocolo de comunicación MQTT, lo que permitirá a visualización de información de cada parámetro.

### **3.3.4. Visualización y monitoreo**

Se visualizará los datos en el tablero de Adafruit IO, según se vaya dando las lecturas se guardará en los registros del servicio para realizar el monitoreo propuesto para analizar la calidad de aire de las zonas urbanas, así mismo, estos datos de las lecturas se podrán descargar para realizar estudios ambientales, entre otros.

### **3.3.5. Alertas**

Las alertas que generará este dispositivo serán en el mismo dispositivo mediante el encendido de luces y él envió de alertas (uso de correo electrónico y por redes sociales).

### **3.3.6. Análisis de Datos**

Se procesan los datos con los parámetros ambientales para el análisis más exhaustivo y validado desde Google Colab, basado en el lenguaje Python.

### 3.4. DISEÑO DEL DISPOSITIVO PARA LA MEDICIÓN Y MONITOREO EN ZONAS URBANAS.

#### 3.4.1. Especificaciones técnicas del dispositivo

El dispositivo de Internet de las Cosas tiene como base la medición y el monitoreo de la calidad de aire en zonas urbanas y medirá los parámetros de elementos climatológicos, contaminantes y gases del efecto invernadero. En la Tabla 20, se muestra las variables que serán consideradas para el desarrollo de la tesis.

Tabla 20. Parámetros del dispositivo

PARAMETROS:	ELEMENTOS CLIMATOLOGICOS	CONTAMINANTES ATMOSFERICOS	GASES DEL EFECTO INVERNADERO
VARIABLE	Temperatura	Monóxido de carbono	Dióxido de carbono
	Humedad	Concentración de humo	Metano
		Densidad de polvo	
		Partículas en suspensión	

Se analizará la relación de dichas concentraciones con los parámetros climatológicos de las zonas urbanas para conocer la situación de riesgo en dichas zonas.

En definitiva, se busca desarrollar un dispositivo que cuente con las siguientes características fundamentales:

**A. Portátil:** Fácil de desplazar (o instalar) a los espacios o zonas en donde se realizarán las muestras de las concentraciones de contaminantes atmosféricos y gases del efecto invernadero, además tendrá un tamaño específico para el posicionamiento de los sensores.

**B. Bajo costo:** Uso de materiales y componentes electrónicos de bajo costo y larga duración, óptimos para la medición de concentraciones en zonas abiertas.

- C. Precisión:** Utilizar sensores calibrados, para obtener el mínimo margen de error comparando con otros dispositivos.
- D. Funcionamiento constante:** Capaz de realizar mediciones de las concentraciones por largos periodos de tiempo, teniendo en cuenta el consumo de corriente por parte de dispositivo.
- E. Sistema abierto:** Permitirá adaptar nuevas funcionalidades según lo requiera el usuario para la toma de muestras en las zonas urbanas.
- F. Transmisión de datos mediante el uso de la conexión con Wifi:** El dispositivo se conecta a través de un *router* o un *Access Point* específico, configurándose en el proceso de programación de la placa.
- G. Registro y almacenamiento de datos:** Se mantendrá un registro de cada una de las mediciones utilizando un historial configurado por el usuario con tiempo máximo de dos meses, permitiendo realizar mediciones en espacios por tiempos prolongados.
- H. Visualización:** Incorporar una interfaz de visualización para realizar el monitoreo de las concentraciones y así determinar la calidad de aire de la zona.
- I. Análisis de datos:** Mostrando un análisis correspondiente a los datos descargados obtenidos por las lecturas de cada parámetro con relación al tiempo y espacio en donde se realizó la muestra.

### 3.4.2. Interconexión de los sensores electroquímicos

Para la solución de la problemática planteada correspondiente a la medición de las concentraciones de contaminantes se ha requerido la integración de sensores con alta sensibilidad correspondiente a cada una de las concentraciones de gases que se monitorearán para determinar la calidad de aire de la zona urbana.

Se ha realizado el diagrama esquemático de conexionado de los sensores electroquímicos efectuando la conexión con la salida analógica del sensor electroquímico a los pines analógicos del microcontrolador Arduino.

#### A. Cálculo de consumo de corriente de los sensores electroquímicos.

En las Tablas de las especificaciones técnicas de cada uno de los sensores electroquímicos se obtuvo que el consumo de corriente (teórico) por cada sensor MQ es aproximadamente 150 mA. Cabe mencionar que también se realiza la medición de dicho consumo cuando se encuentre realizando la fase de implementación del circuito electrónico.

En La ecuación 14 para el cálculo del consumo de corriente, se considera los  $n$  sensores del dispositivo de IoT.

$$I = \sum_{i=1}^n 150i + \sum_{j=1}^n 150j + \sum_{k=1}^n 150k + \sum_{l=1}^n 150l \quad (14)$$

Considerando que (i, j, k, l) son los tipos de sensores electroquímicos utilizados, obteniendo:

$$I(\text{Consumo de corriente}) = 150(1) + 150(1) + 150(1) + 150(1)$$

$$I(\text{Consumo de corriente}) = 600\text{mA}$$

Se obtuvo el valor teórico de 600 mA para el consumo de corriente de los sensores electroquímicos, el cual en el proceso será sumada con el consumo de corriente de los demás sensores que se colocarán dentro del dispositivo de

Internet de las Cosas para la medición y monitoreo de la calidad de aire en las zonas urbanas (Figura 37).

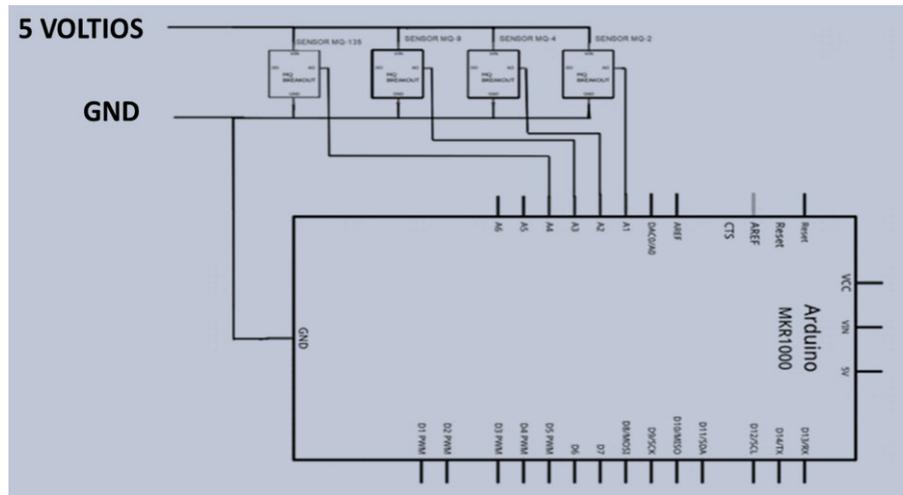


Figura 37. Circuito de conexión de los sensores MQ con Arduino.

### B. Conexión de los sensores electroquímicos con Arduino.

Se empleó el software Fritzing para realizar el posicionamiento de los sensores electroquímicos MQ y las conexiones provenientes del diagrama de conexión requerida para la realización de la placa electrónica y para el proceso de implementación del dispositivo de Internet de las Cosas (Figura 38).

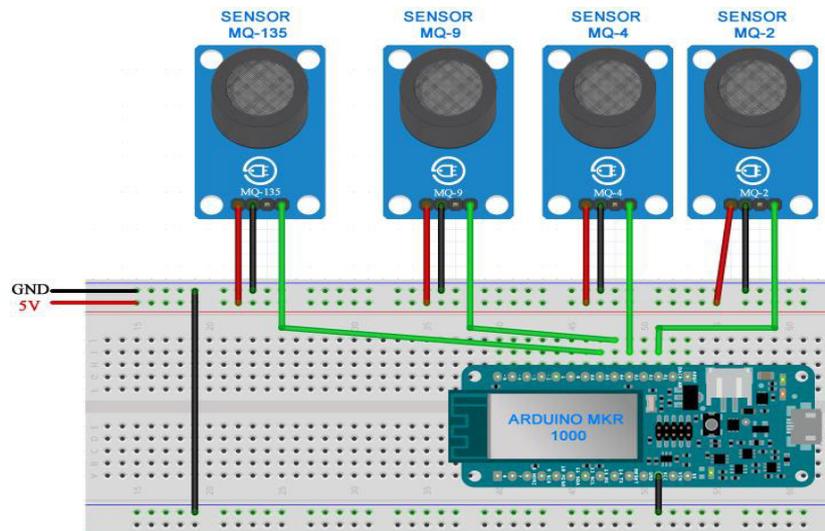


Figura 38. Conexión de los sensores MQ – Arduino MKR1000.

### 3.4.3. Interconexión del sensor de partículas en suspensión

Uno de los principales aspectos de la construcción del dispositivo se basa en medir las concentraciones de material particulado y su

densidad, por tal motivo, se realizó el diagrama de conexión del sensor óptico GP2Y1010AU0F.

El sensor requiere de la conexión de un condensador electrolítico y una resistencia a la cual se conectan sus salidas del sensor, también conectadas al Arduino (Figura 39). Se conecta dos pines de salida (un pin analógico y un digital) al microcontrolador Arduino MKR100.

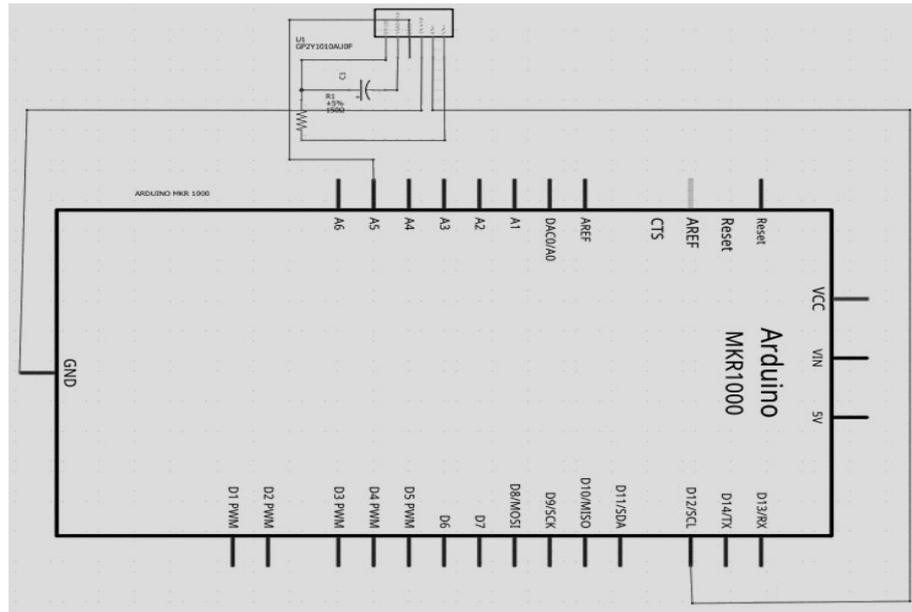


Figura 39. Circuito de conexión del sensor con Arduino.

**A. Cálculo de consumo de corriente del sensor para la medición de partículas en suspensión del aire.**

Se analizó el consumo del sensor mediante el valor teórico de consumo según la hoja técnica brindada por el fabricante y basado en la siguiente ecuación para el cálculo de consumo máximo:

$$I(mA) = \sum_{i=1}^n 10i \tag{15}$$

En donde:

n = Cantidad de sensores de partículas en suspensión

$$I(mA) = 10(1) = 10mA$$

## B. Conexión del sensor para la medición de partículas en suspensión y el Arduino.

Se empleó la simulación en el software *Fritzing*, en donde se realizó el posicionamiento del sensor de material particulado y las conexiones provenientes del diagrama de conexión requerida para la realización de la placa electrónica y para el proceso de implementación del dispositivo de Internet de las Cosas (Figura 40).

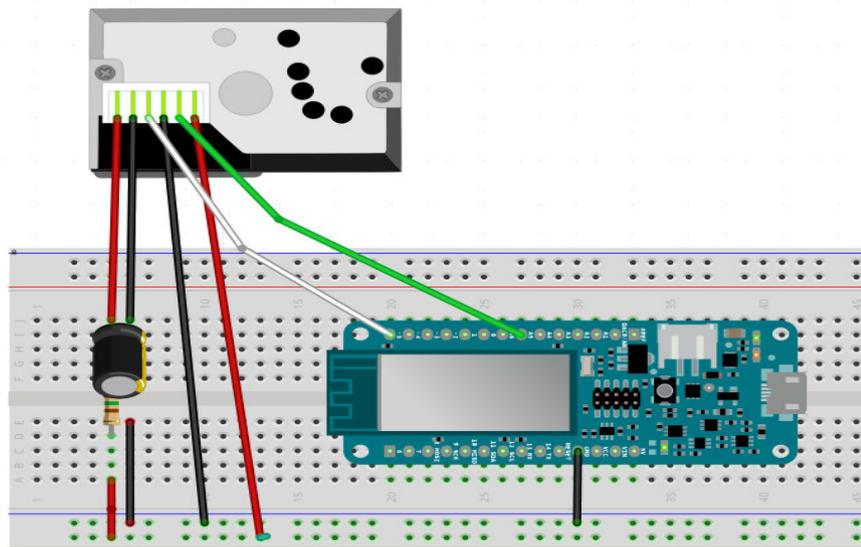


Figura 40. Conexión del sensor y el Arduino MKR1000

### 3.4.4. Interconexión del sensor de temperatura y humedad

Los elementos climatológicos influyen también en la salud humana, por tal motivo se agregó el sensor DHT21 por trabajar con un amplio rango y mínimo margen de error.

En la Figura 41, se muestra el diagrama de conexión del sensor DHT21 utilizado para la simulación y conexión en el proceso de implementación.

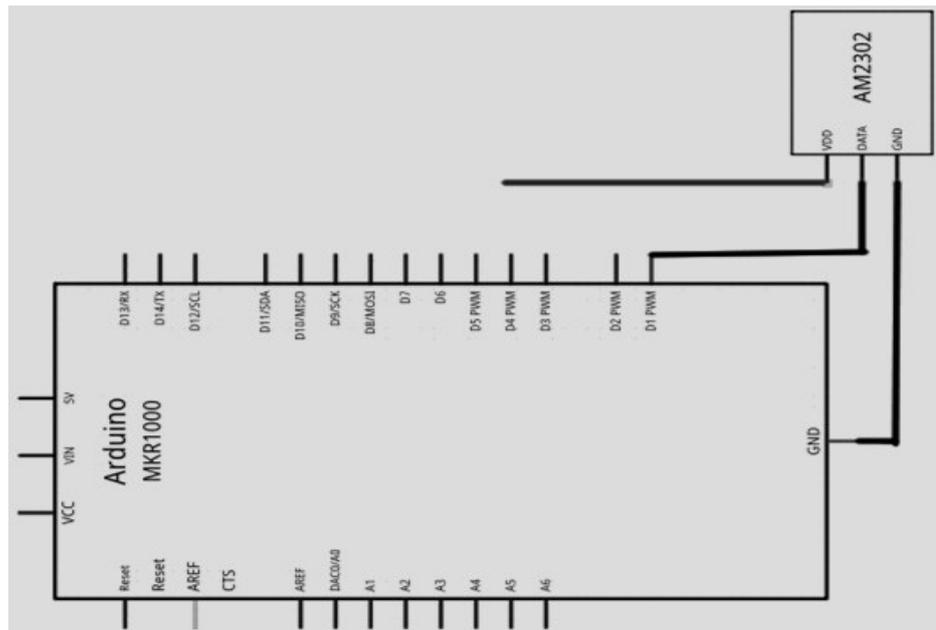


Figura 41. Circuito de conexión del sensor DHT21 con Arduino.

**A. Consumo de corriente del sensor de humedad y temperatura.**

Se analizó el consumo del sensor mediante el valor teórico de consumo según la hoja brindada por el fabricante, la cual se muestra en el siguiente cálculo:

$$I(mA) = \sum_{i=1}^n 8i \tag{16}$$

En donde:

n = Cantidad de sensores DHT21

$$I(mA) = 8(1) = 8mA$$

**B. Conexión del sensor de humedad y temperatura DHT21**

Para el funcionamiento del sensor se utilizará el pin digital del Arduino MKR1000 (Figura 42).

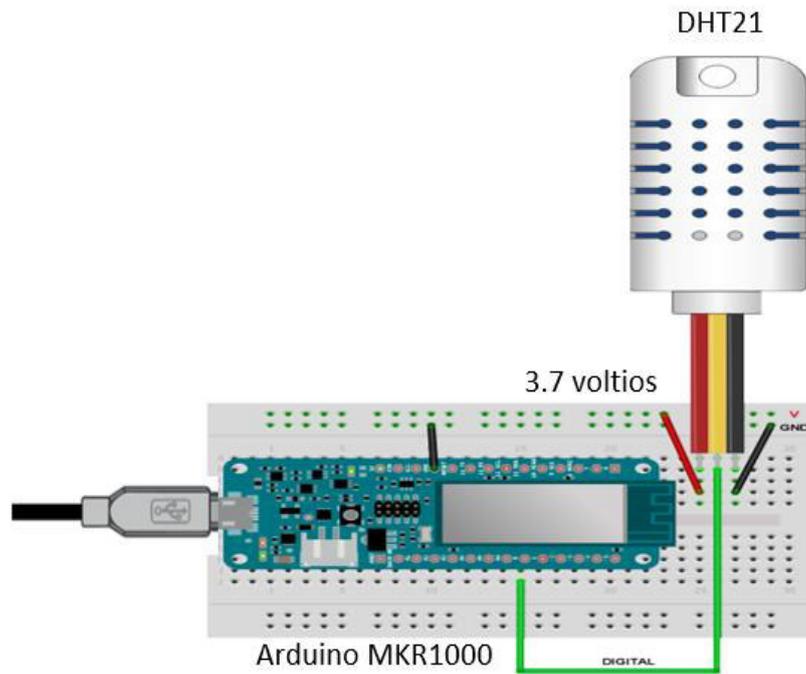


Figura 42. Conexión sensor DHT21 con el Arduino.

### 3.4.5. Diseño del circuito del dispositivo

Basado en los diagramas ya mencionados en las figuras anteriores, se prosiguió a elaborar el diagrama de conexiones del dispositivo y cumplirá con la función de alimentar al Arduino, sensores y sistema de alertas (Figura 43).

Para el diseño de este dispositivo se cumplirá con las siguientes características técnicas mencionadas en el objetivo:

- Funcionamiento constante y bajo consumo.
- Implementación y construcción a bajo precio.
- Utilizar componentes calibrados con alta sensibilidad
- Mínimo margen de error.

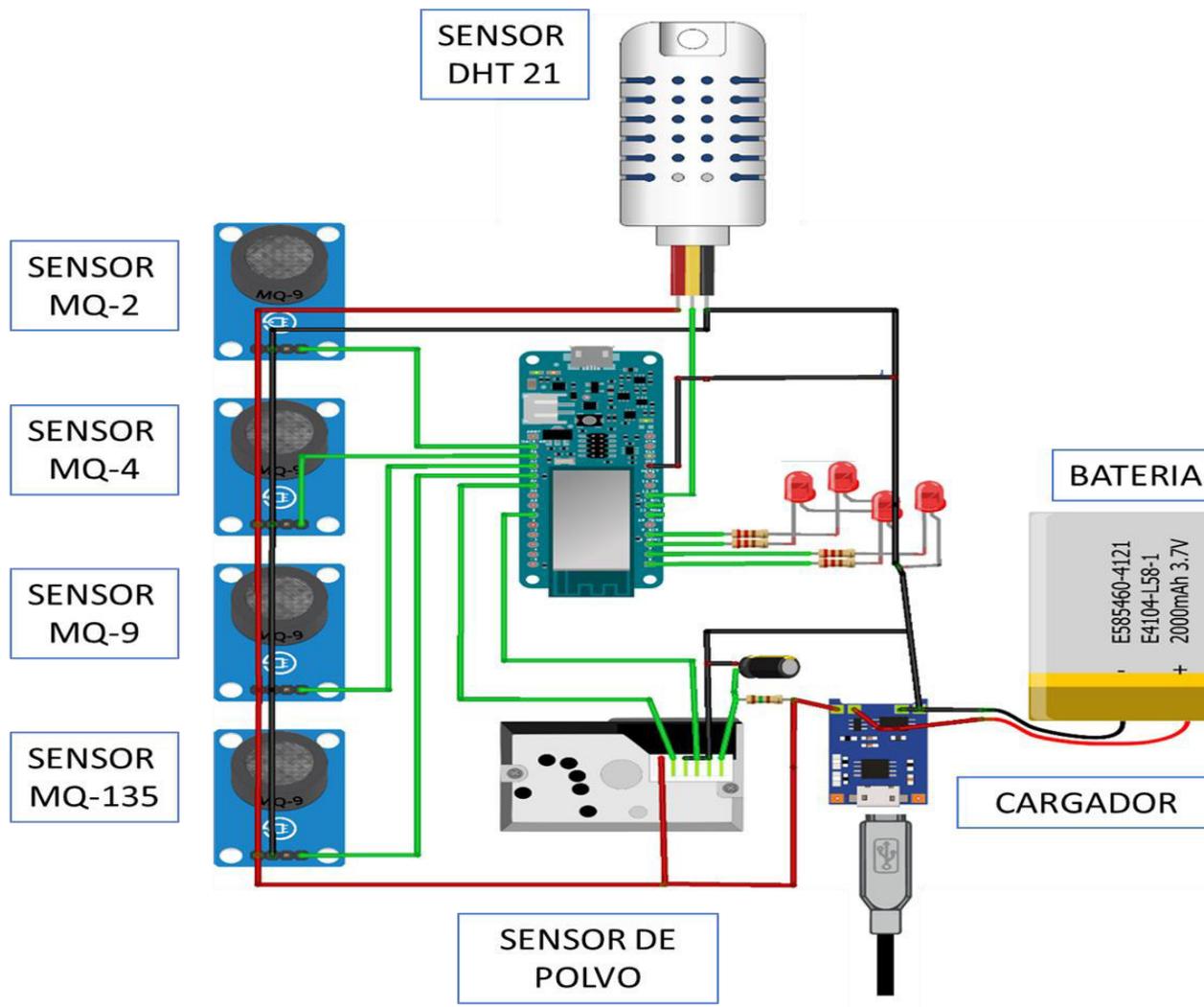


Figura 43. Diseño electrónico del dispositivo de IoT.

En la Figura 44, se muestra el diseño de la placa electrónica para la posterior impresión de la pista en PCB obtenida en Fritzing, y se logró el posicionamiento del microcontrolador, los sensores y el sistema de alerta.

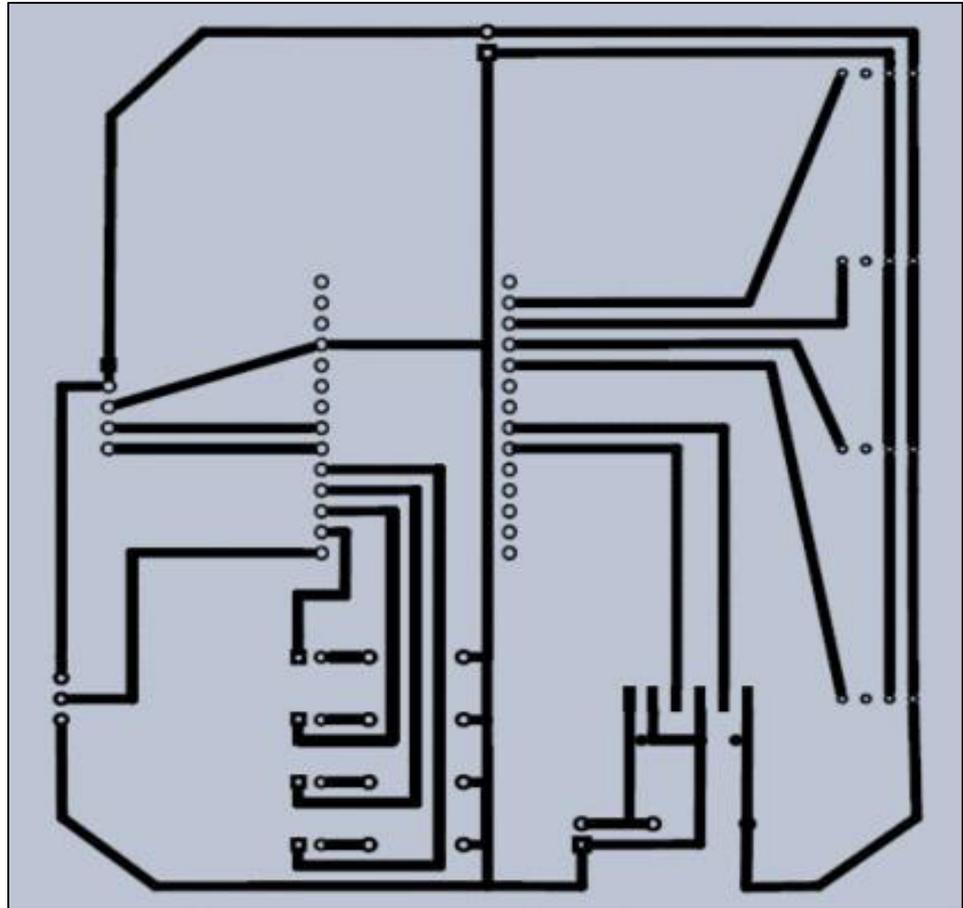


Figura 44. Diagrama del circuito electrónico.

#### 3.4.6. Diseño de la estructura del dispositivo

Se realizó el diseño mecánico del dispositivo analizando el material en el que se realizará el chasis para cumplir la especificación técnica de la portabilidad (facilidad en el traslado del dispositivo), por lo que se decidió trabajar con MDF.

En la Figura 45, se muestra las dimensiones de la carcasa (a, b) del dispositivo de Internet de las Cosas, el cual será utilizado para proteger la placa electrónica y los sensores (c).

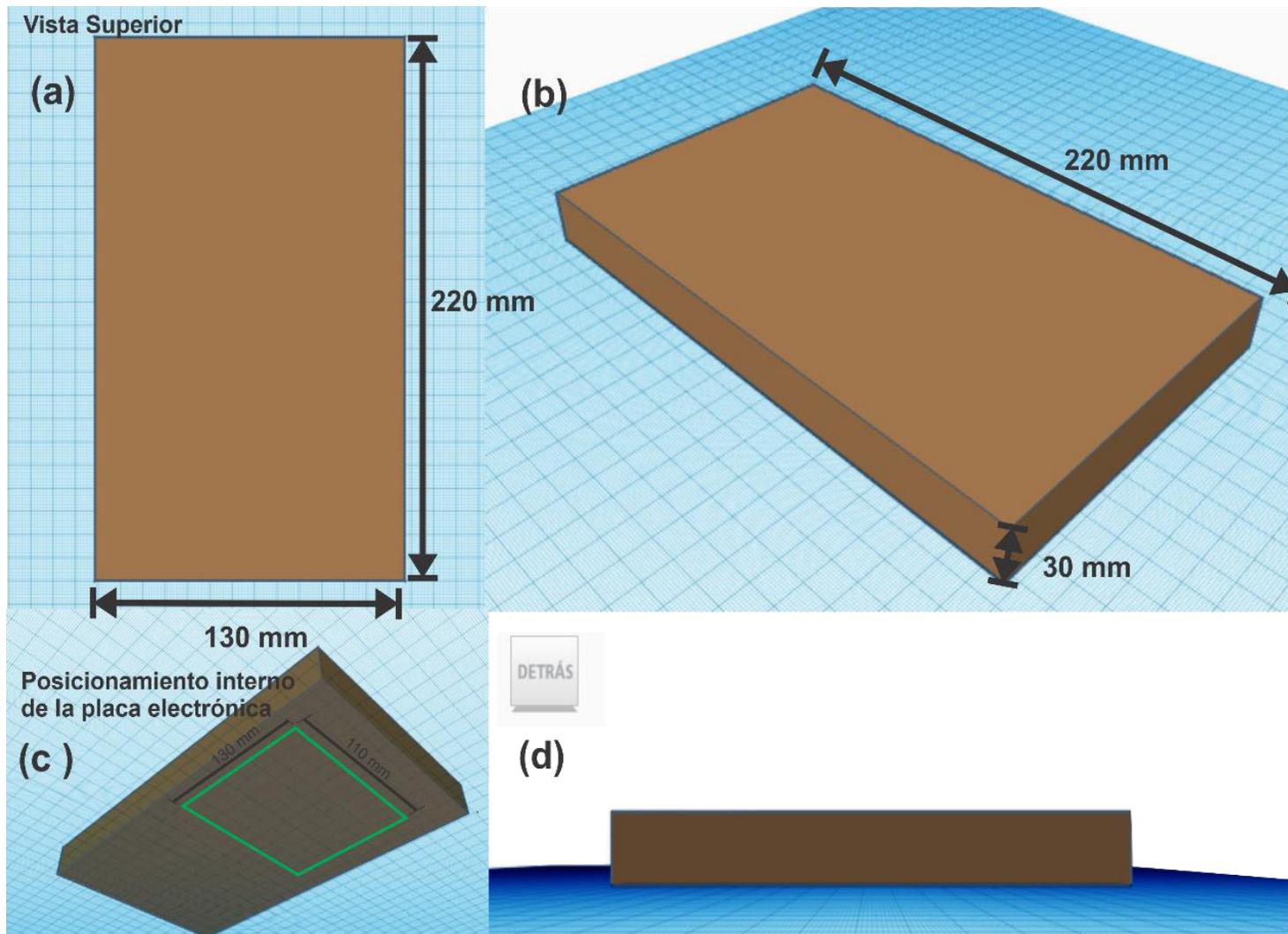
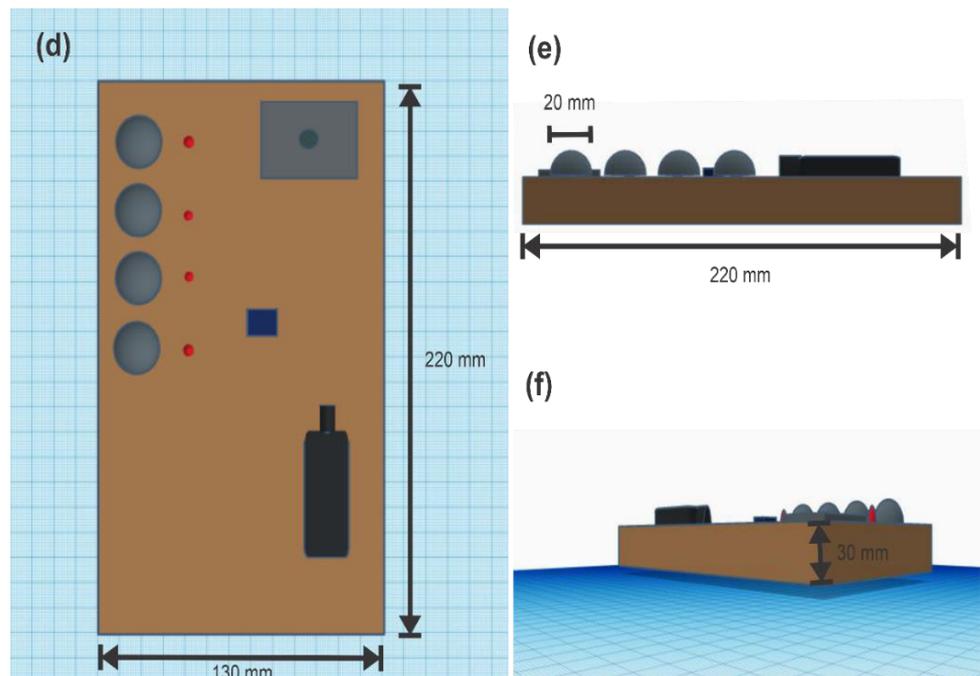


Figura 45. Dimensiones del chasis.

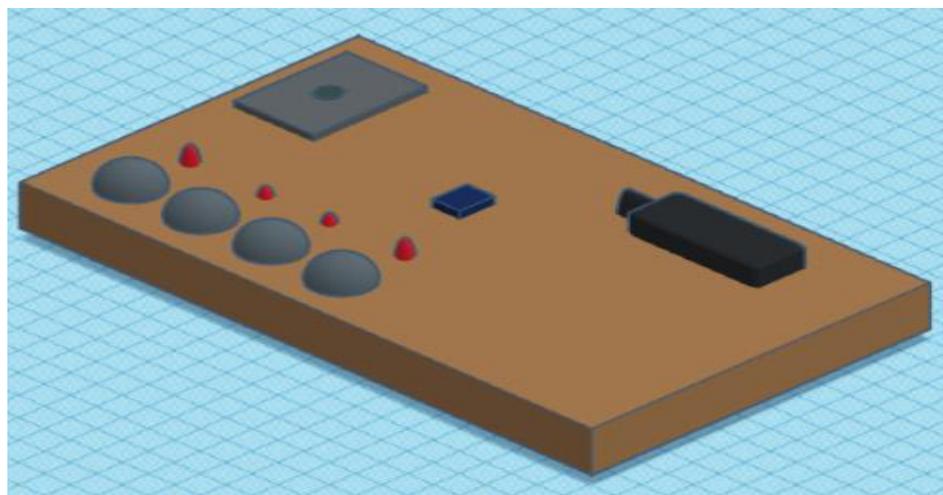
El posicionamiento de los sensores electroquímicos, los cuales se encuentren cercanos debido a la semejanza del posicionamiento de sus pines, y se realizarán pequeños orificios de diámetro de 20 mm para la salida de la malla de acero inoxidable a fin de que medir las concentraciones ya mencionadas.

En la Figura 46, se muestra el posicionamiento de todos los sensores (d), en la (e) se visualiza las separaciones de orificios de los sensores electroquímicos y (f) el espesor del dispositivo.



**Figura 46. Posicionamiento de sensores.**

En la Figura 47, se muestra las dimensiones del dispositivo con el sistema de alertas.



**Figura 47. Diseño de la estructura del dispositivo.**

### 3.4.7. Diseño del sistema de alertas

Para el sistema de alertas se ha propuesto la utilización de leds, el cual encenderán cuando el valor de los gases de efecto invernadero y contaminantes se eleven. Por lo que el encendido de luces leds (Figura 48) será la muestra de valores que afectan la salud de la persona en el entorno donde se realizan las muestras de campo.

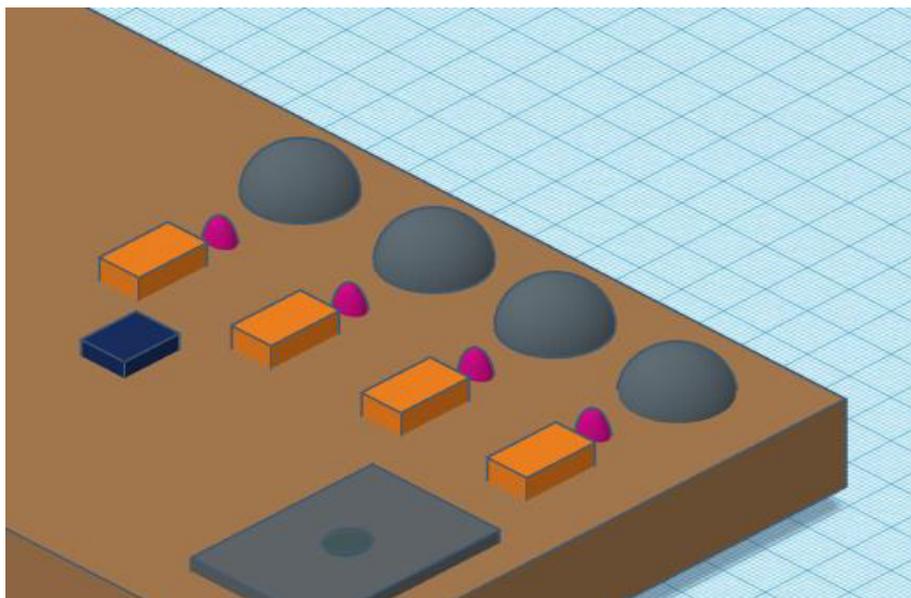


Figura 48. Diseño del sistema de alerta del dispositivo.

### 3.4.8. Diseño lógico del dispositivo

Se inició la etapa de programación estableciendo las funcionalidades basado en el siguiente diagrama de flujo de la programación del sistema del dispositivo (Figura 49).

En donde:

- N= Nivel
- U= Umbral
- T= Temporizador

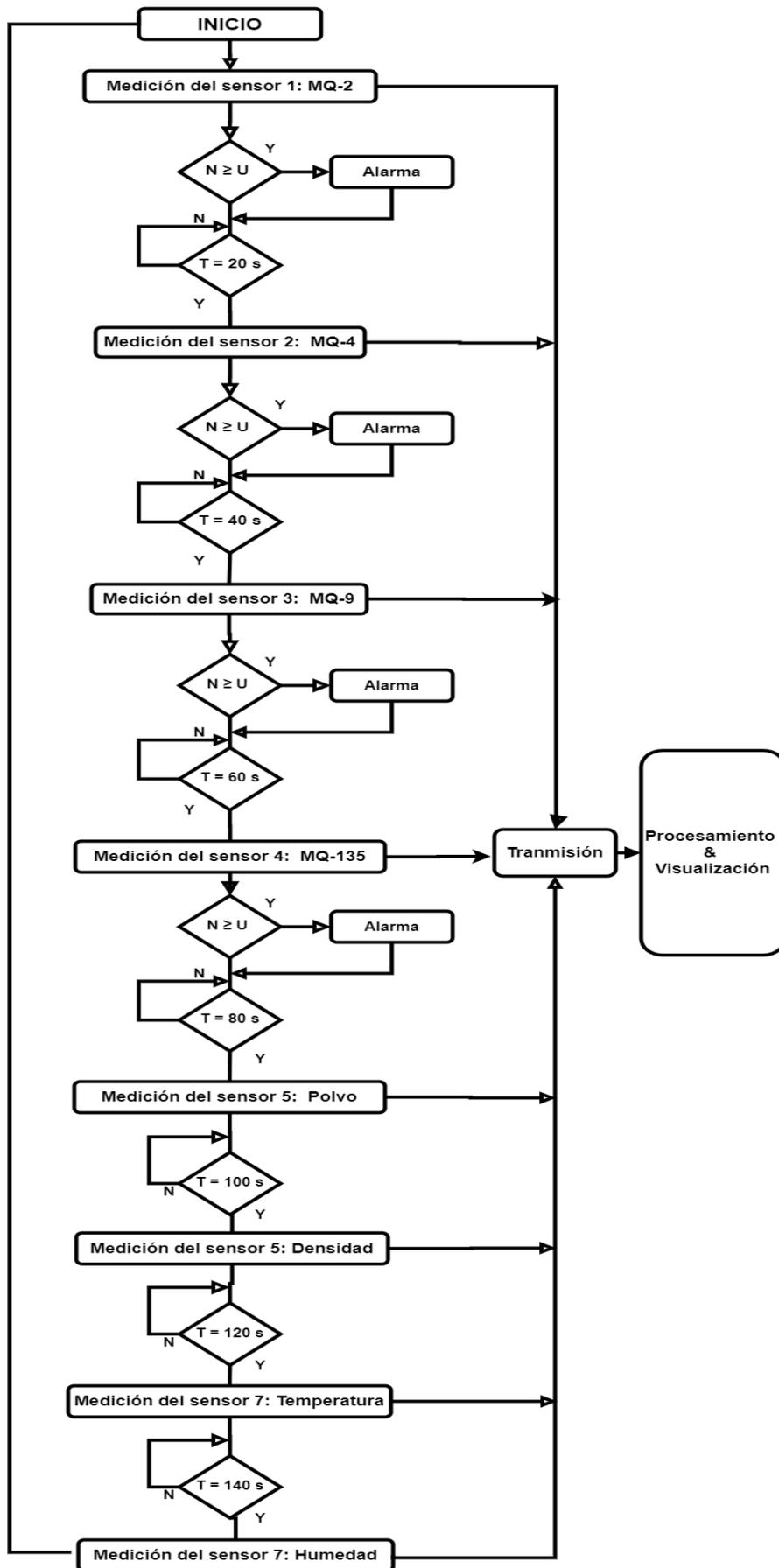


Figura 49. Diagrama de flujo del funcionamiento.

Para la programación en el IDE de Arduino se agregó la librería del Arduino MKR 1000.

```
#include <WiFi101.h>
```

Para trabajar con la plataforma de Adafruit IO, por lo que se agregará la librería del protocolo de comunicación MQTT.

```
#include "Adafruit_MQTT.h"
#include "Adafruit_MQTT_Client.h"
```

Se incorporó las librerías del sensor para la medición de humedad y temperatura.

```
#include <DHT.h>
#include <SFE_BMP180.h>
```

Posteriormente, se definió el punto de red (nombre de la red y la contraseña) del smartphone para conectarlo a Internet.

```
#define WLAN_SSID *****
#define WLAN_PASS *****
```

Se incorporó la información del servidor, el usuario y el *keys* de Adafruit IO.

```
#define IO_SERVER "io.adafruit.com"
#define IO_SERVERPORT 1883
#define IO_USERNAME "m*****"
#define IO_KEY *****
```

Se separó la programación de cada sensor con funciones, definiendo los pines (analógico y digital) que se utilizarán para las conexiones con el microcontrolador, agregar las variables (Tabla 21) para las lecturas y las publicaciones en él envió de datos para la visualización del monitoreo de datos.

**Tabla 21. Conexiones con el microcontrolador.**

COMPONENTES	PIN	PARÁMETRO
Sensor electroquímico MQ-2	A0	Humo
Sensor electroquímico MQ-4	A1	Metano
Sensor electroquímico MQ-9	A2	Monóxido de Carbono
Sensor electroquímico MQ-135	A3	Dióxido de Carbono
Sensor GP2Y1010AU0F	A6	Partículas en suspensión
Sensor DHT21	D6	Temperatura y humedad
Sistema de alerta	D=7,8,9 y 10	Alertas (elevados valores)

Finalmente, para la programación de sensores MQ se basa en las fórmulas obtenidas en la calibración.

El comportamiento de la cápsula es de una resistencia, que varía en función a la concentración del gas que se encuentra a los alrededores (Figura 50), por lo que se utilizó el valor de “RL” para el cálculo del valor de “Rs se usó la fórmula para la división de tensión mostrada en siguiente fórmula:

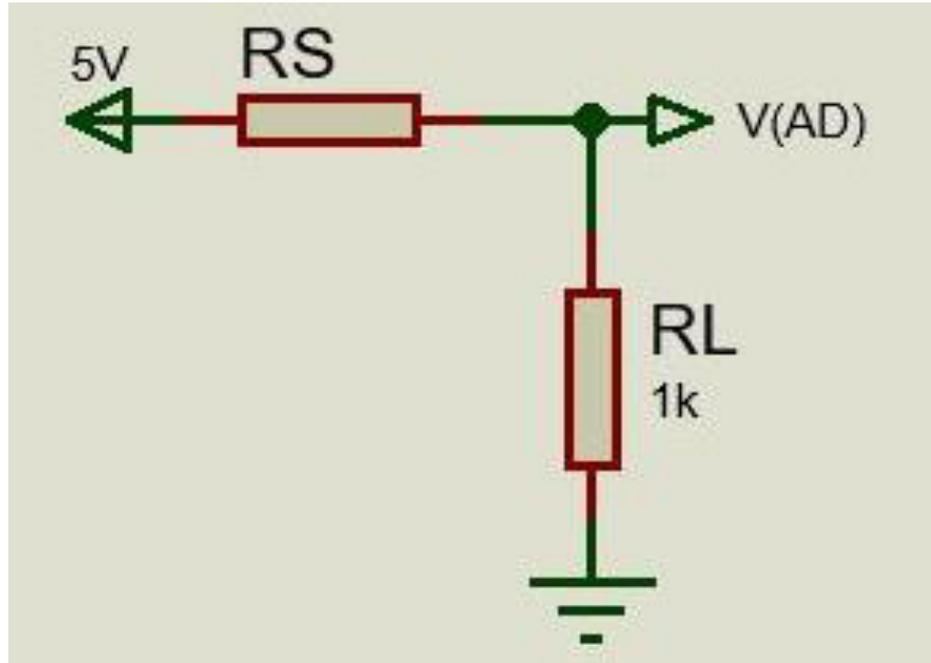


Figura 50. Divisor de voltaje del sensor MQ.

$$V_{out} = V_{in} \left( \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) \quad (17)$$

Reemplazando las variables ( $R_1=R_s$  y  $R_2=R_L$ )

$$V_{AD} = V_{IN} \left( \frac{R_L}{R_S + R_L} \right)$$

Obteniendo:

$$R_S = \left( \frac{V_{IN} - V_{AD}}{V_{AD}} \right) R_L \quad (18)$$

### 3.5. IMPLEMENTACIÓN DEL DISPOSITIVO DE INTERNET DE LAS COSAS.

Para el proceso de implementación se inició realizando las pruebas en un protoboard conectando todos los sensores mencionados y el microcontrolador, así mismo se realizó mediciones de consumo de cada sensor y verificando el correcto funcionamiento de todo el sistema.

Se ha propuesto un diagrama de bloques para la implementación de los sensores (Figura 51).

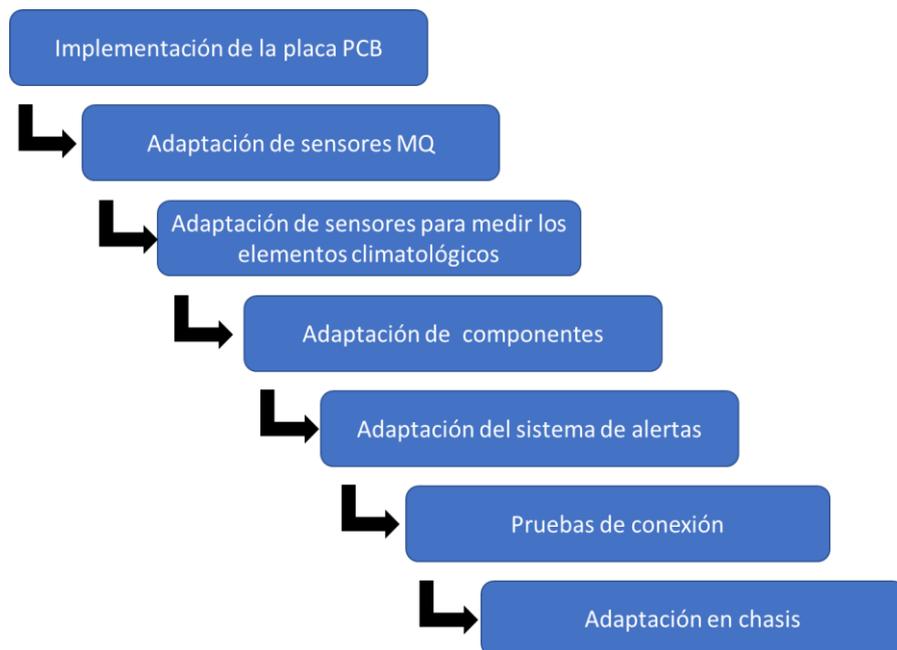


Figura 51. Diagrama de bloques de la implementación.

#### 3.5.1. Implementación de la placa PCB

Se imprimió el diseño de la placa PCB en papel couche con dimensiones de 110 mm x 130 mm, seguidamente se realizó los orificios para adaptar cada uno de los componentes que se implementarán en la placa.

#### 3.5.2. Incorporación de los sensores MQ

Para la incorporación de los cuatro sensores electroquímicos se utilizó cautil y estaño para la soldadura (Figura 52).



Figura 52. Adaptación de los sensores MQ.

### 3.5.3. Incorporación de los elementos climatológicos.

Se incorpora el sensor DHT21 (temperatura y humedad) para que a futuro poder obtener los valores de las lecturas de los elementos climatológicos (Figura 53 y 54).



Figura 53. Adaptación de los sensores DHT21.

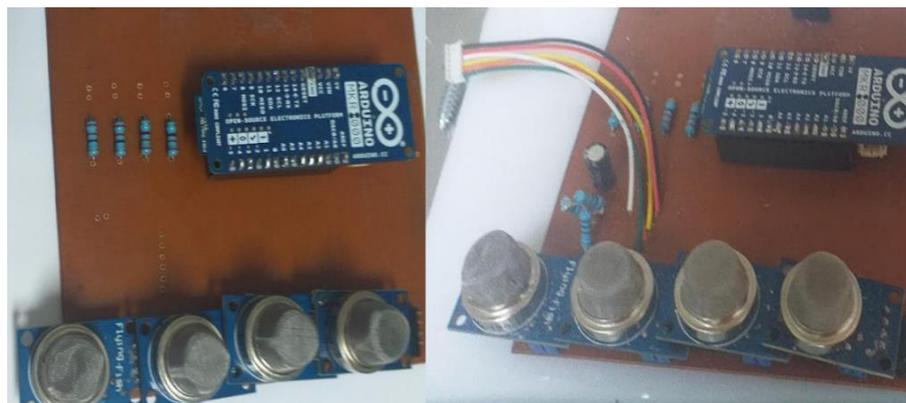
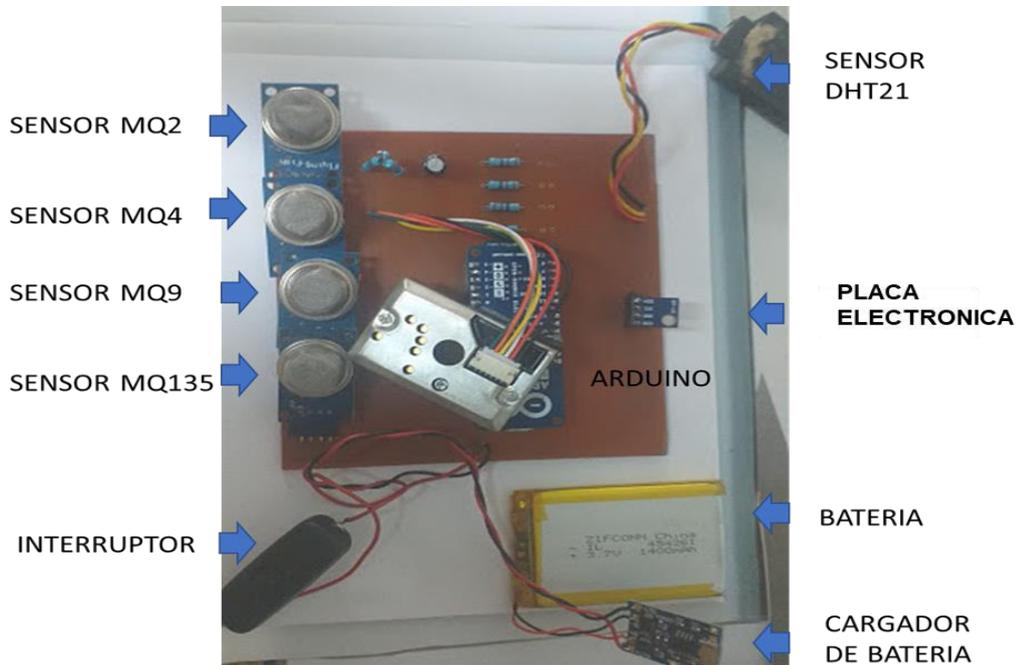


Figura 54. Implementación de sensores

### 3.5.4. Incorporación de componentes electrónicos.

En esta parte, se incorporaron los componentes electrónicos, cables, cargador de batería, batería de 3.7 voltios y un interruptor

para el encender el dispositivo (Figura 55). Finalmente, se procedió a agregar el Arduino con la programación subida (Anexo B).



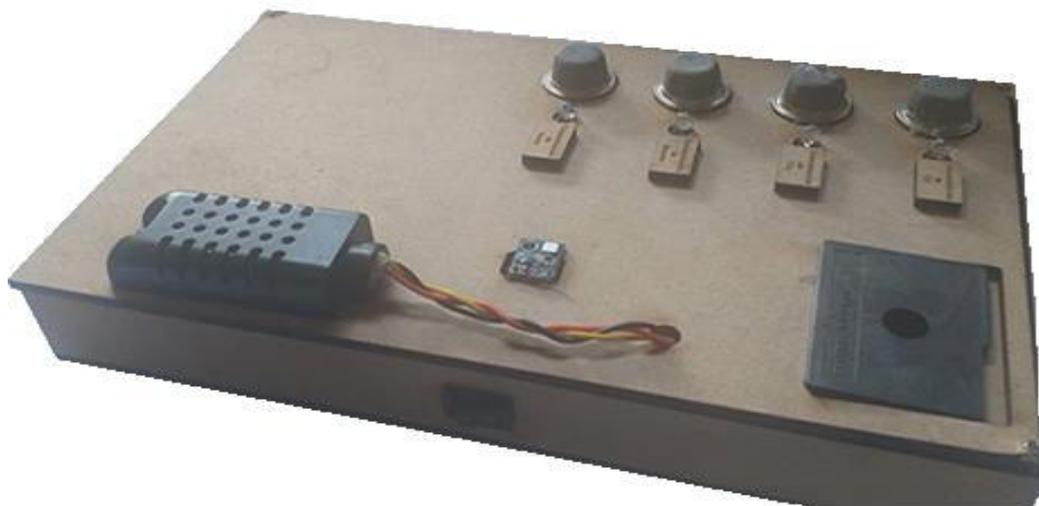
**Figura 55. Implementación de la placa.**

### **3.5.5. Incorporación sistema de alertas**

Se incorporaron las luces led para generar las alertas cuando se elevan los valores de las concentraciones en el aire.

### **3.5.6. Incorporación en chasis**

Se incorporó la placa PCB y todos los sensores que se encuentran realizados los orificios (Figura 56 y 57).



**Figura 56. Adaptación del chasis.**

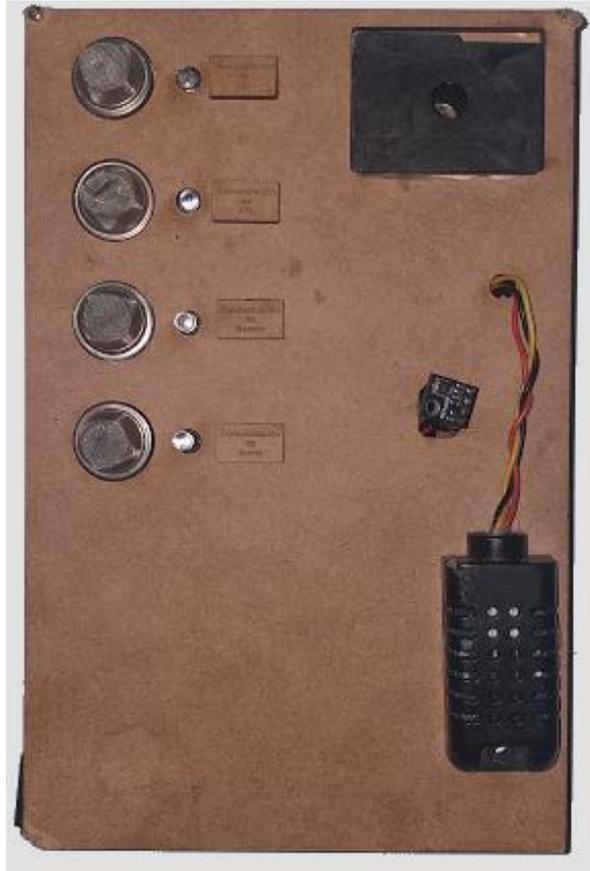


Figura 57. Dispositivo de Internet de las Cosas.

### 3.5.7. Pruebas de conexión

En esta parte, se realizó las mediciones para el cálculo del consumo del dispositivo basado en dos situaciones.

El consumo sin conexión a Internet = 620 mA

El consumo con conexión a Internet = 630 mA

Se cálculo la duración de la batería, tal como se muestra en la siguiente formula:

$$\text{Duración de la batería} = \frac{\text{Capacidad de la Batería}}{\text{Consumo del dispositivo}} \quad (19)$$

$$\text{Duración de la batería} = \frac{2500 \text{ mAh}}{630}$$

$$\text{Duración de la batería} = 3.58 \text{ horas}$$

Se cálculo la potencia eléctrica del dispositivo

$$\text{Potencia eléctrica} = \text{Voltaje} \times \text{Consumo de corriente} \quad (20)$$

Reemplazando:

$$Potencia\ eléctrica = 5\ Voltios \times 630mA$$

Obteniendo:

$$Potencia\ eléctrica = 3.15\ watts$$

### 3.6. MONITOREO EN TIEMPO REAL UTILIZANDO EL DISPOSITIVO DE INTERNET DE LAS COSAS.

En esta parte, se ha trabajado con el servicio en la nube de la plataforma Adafruit IO creando un usuario para la aplicación y realización del monitoreo de la calidad de aire de las zonas en donde se realizarán la toma de muestra para la obtención de datos, posteriormente se realizará la configuración de alertas. Por lo que se ha propuesto la realización de un diagrama de bloques para el cumplimiento del objetivo propuesto (Figura 58).

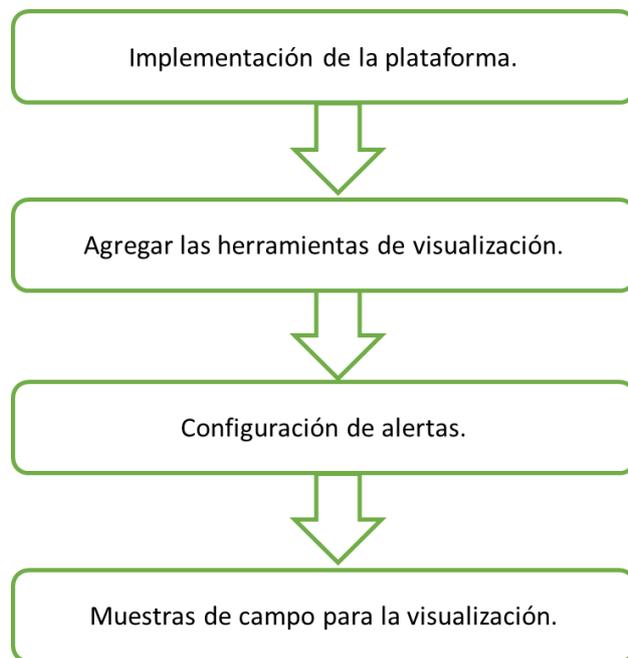


Figura 58. Implementación del sistema de monitoreo.

#### 3.6.1. Plataforma

Se inició creando un *dashboard* (tablero de trabajo) en donde los usuarios visualizarán la información de los sensores. Se ingresará el *key* del *dashboard* para la recepción del envío de datos en el Arduino usado anteriormente en la programación. Cada una de las variables del Arduino que envía en esta plataforma se conoce con el nombre “*feed*”.

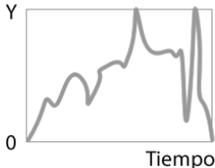
#### 3.6.2. Herramientas de visualización

Posteriormente, se inició incorporando los “*new block*” llamadas también herramientas de visualización, separando los parámetros

en tres grupos: elementos climatológicos, contaminantes en la atmosfera y gases del efecto invernadero.

Cada uno de los new block muestra diferentes maneras de visualizar la información que envía el Arduino mediante la conexión con Internet (Tabla 22).

**Tabla 22. Herramientas de visualización.**

NEW BLOCK	DEFINICIÓN	VISUALIZACIÓN
<i>Gauge</i>	Utilizado para la visualización de información de manera interactiva.	
<i>Stream</i>	Visualización de historiales de lecturas realizadas.	<b>Fecha Hora Feed Valor</b>
<i>Line chart</i>	Permite la visualización del valor con relación al tiempo	
<i>Text</i>	Se utiliza para agregar texto en el dashboard.	<b>“Calidad de aire”</b>
<i>Color Picker</i>	Utilizado para generar alertas en función a condicionales.	

La plataforma de monitoreo del servicio web se realizó con los new block de manera que los usuarios visualicen y entiendan la información de manera rápida (Figura 59) separando la información de los elementos climatológicos, gases del efecto invernadero, contaminantes atmosféricos y partículas en suspensión. Cada uno de los usuarios que ingrese por medio del enlace del proyecto podrá visualizar la información de la medición de la calidad de aire sin necesidad de crearse una cuenta en la plataforma.

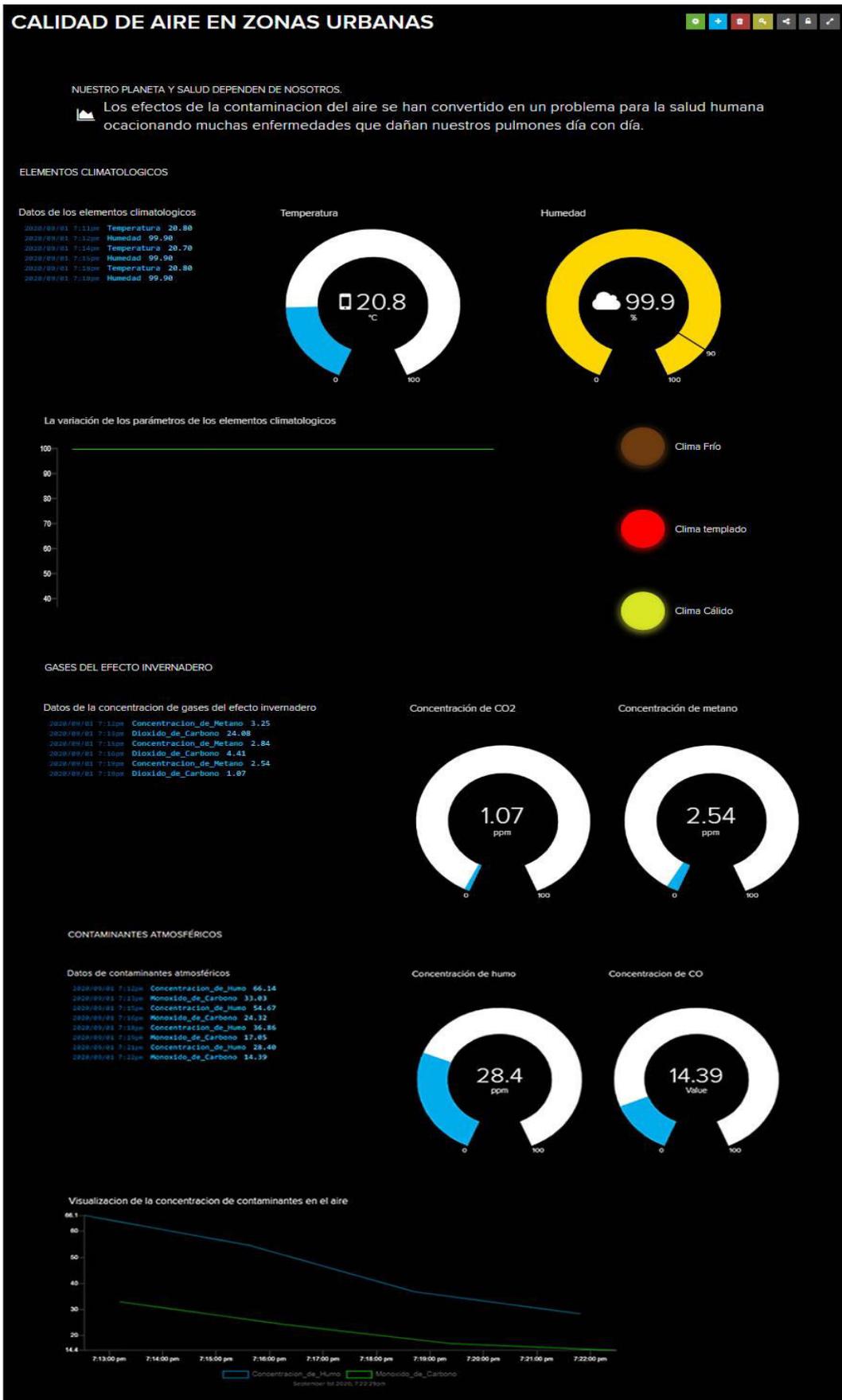


Figura 59. Plataforma de visualización.

### 3.6.3. Configuración de alertas

Para generar las alertas a los usuarios, en base al funcionamiento del dispositivo se opera con el servicio web de IFTTT y es compatible para interoperar con el servicio web de Adafruit IO.

Asimismo, se ha agregado algunas condiciones para generar envíos de correos electrónicos y publicaciones por las redes sociales para concientizar con el cuidado de la salud (Figura 60).

The screenshot shows the IFTTT configuration interface for an alert. It is divided into two main sections. The left section is titled "Monitor a feed on Adafruit IO" and includes a description: "This Trigger fires anytime it validates the data that you send to your feed. Example: If Feed Temperature > 80, fire Trigger." Below this, there are three fields: "Relationship" (set to "greater than"), "Feed" (set to "Temperatura"), and "Value" (set to "29"). The right section is titled "Send yourself an email" and includes a description: "This action will send yourself an email. HTML, images and links are supported." Below this, there are three fields: "Subject" (set to "CALIDAD DE AIRE"), "Body" (containing a preview of an email message: "La temperatura actual FeedValue es Si sales de tu casa protegete con bloqueador solar cuidara tu piel de la contaminacion ."), and "Attachment URL" (set to "https://io.adafruit.com/i/dashboards/prueba"). A "Save" button is located at the bottom right of the interface.

Figura 60. Configuración de alertas.

Fuente: IFTTT

### 3.6.4. Calidad de servicio en MQTT

El protocolo de comunicación MQTT cuenta con tres calidades de servicio en el envío de datos a los clientes que reciben la información.

- Q0 (Como máximo uno a la vez.)
- Q1 (Al menos uno a la vez.)
- Q2 (Exactamente uno a la vez.)

### **3.6.5. Procedimiento para el funcionamiento**

El proceso de funcionamiento del dispositivo el cual inicia con el siguiente proceso:

- A.** Encender del punto de red del smartphone, manteniendo este a una mínima distancia del dispositivo para la conexión de manera constante.
- B.** Encender el dispositivo de Internet de las Cosas.
- C.** El usuario que realice la medición deberá anotar los siguientes datos:
  - Características del ambiente.
  - Tiempo de inicio y final de la muestra.
  - Lugar de la muestra.
- D.** El sensado de cada uno de los parámetros se realiza en intervalos de 20 segundos por parámetro, y realizando la lectura de cada sensor cada 2.3 minutos.
- E.** El tiempo máximo de muestreo aproximado de calidad de aire es de 3 horas.
- F.** Mantener el dispositivo fuera del alcance del agua por el daño interno que podrían sufrir los componentes integrados del dispositivo.
- G.** Mantener el dispositivo fuera del alcance del polvo por el daño interno que podría sufrir los componentes integrados al dispositivo.
- H.** . Los datos recolectados al ser descargados, el tiempo de muestra se descarga con el Tiempo Universal Coordinado (UTC) con diferencia de -5 horas de la hora nacional por lo que los datos representados deberán ser interpretados con la hora mundial.

### **3.6.6. Análisis de funcionamiento del dispositivo**

Se realizaron diferentes muestras de campo en las zonas urbanas de Lima Metropolitana y distritos cercanos identificando inicialmente las condiciones del ambiente como: la congestión vehicular, acumulación de desechos sólidos en avenidas o zonas, entre otras que afectan la salud humana por la frecuencia a la

exposición. Seguidamente se presentará casos de las muestras de campo realizadas con su respectivo análisis.

### **Caso 1: Puente Acho- Distrito de Lima Metropolitana.**

La primera toma de muestra de calidad de aire en zonas urbanas se realizó en el puente Acho por su alta congestión vehicular, zona concurrida por millones de personas diariamente, falta de limpieza pública a sus alrededores (Figura 62).



**Figura 61. Ubicación de la toma de muestras I.**

**Fuente: Google Earth**

El tiempo de inicio de la muestra se inicia desde el inicio de la publicación del primer sensor (sensor de humo MQ-2) en Adafruit.

- Dia y hora nacional de la muestra inicial: 12:30:55 09/08/2020
- Dia y hora UTC inicial: 17:30:55 09/08/2020

En la Figura 62, se muestra fotografías de la toma de muestras usando el dispositivo en funcionamiento en el Puente Acho para la obtención de datos de los parámetros en mención.



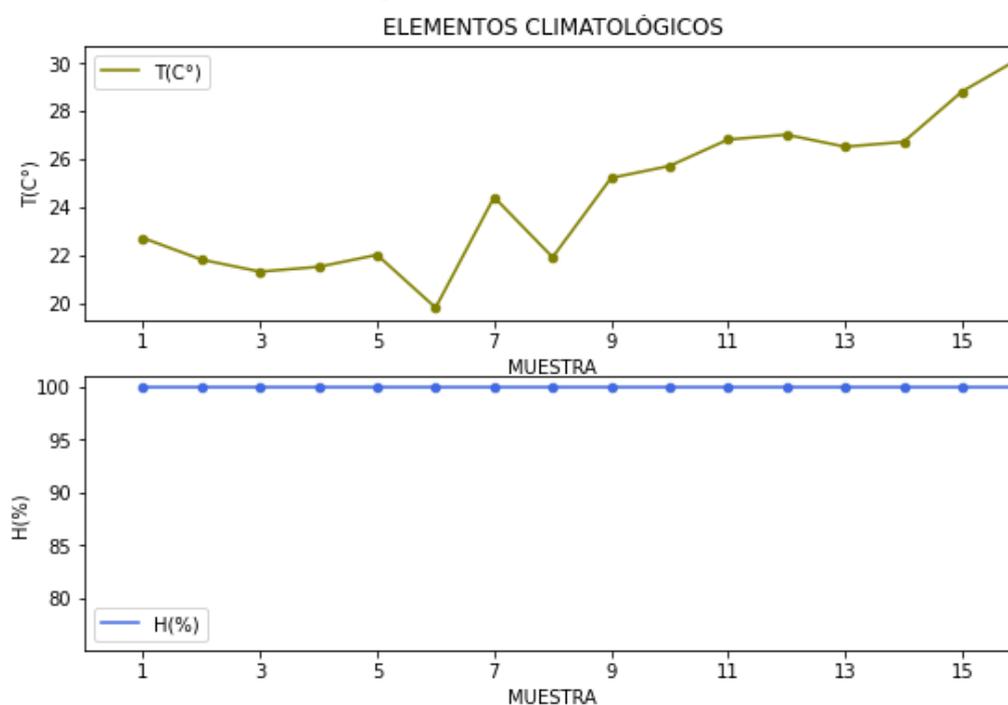
**Figura 62. Fotografías de la toma de muestras en puente Acho.**

Debido a la gran cantidad de datos recolectados se tomó una pequeña muestra mostrada en la Tabla 23, en donde el tiempo de muestreo representa la primera lectura por parte de la medición de la concentración de humo y los sensores posteriores.

**Tabla 23. Información de muestras del puente Acho.**

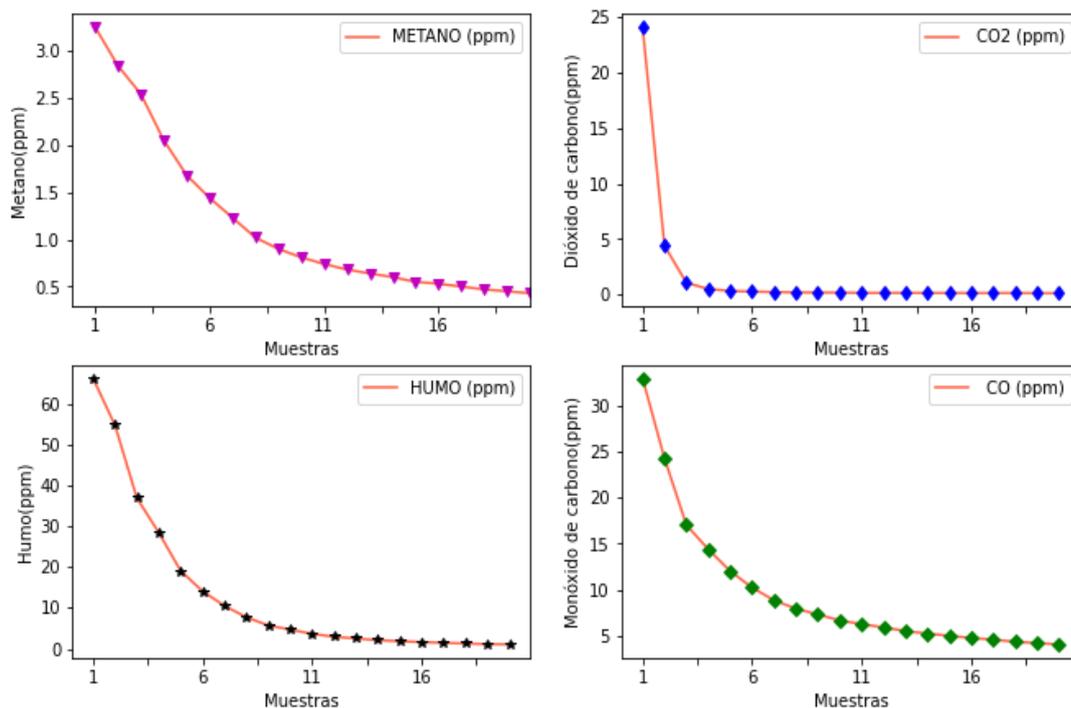
M	TIEMPO DE MUESTREO	Humo (ppm)	CH4 (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	T (C°)	H (%)
1	2020-08-09 17:30:55 UTC	5.40	1.13	8.96	0.11	22.7	99.9
2	2020-08-09 17:34:01 UTC	1.73	0.73	8.19	0.15	21.8	99.9
3	2020-08-09 17:37:07 UTC	0.99	0.47	6.29	0.36	21.3	99.9
4	2020-08-09 17:40:12 UTC	0.48	0.36	4.59	0.17	21.5	99.9
5	2020-08-09 17:43:18 UTC	0.30	0.28	3.53	0.13	22.0	99.9
6	2020-08-09 17:46:24 UTC	0.38	0.34	5.21	0.13	19.8	99.9
7	2020-08-09 17:49:30 UTC	0.31	0.30	4.56	0.15	24.4	99.9
8	2020-08-09 17:52:35 UTC	0.28	0.31	3.58	0.13	21.9	99.9
9	2020-08-09 17:55:41 UTC	0.30	0.28	3.98	0.12	25.2	99.9
10	2020-08-09 17:58:47 UTC	0.22	0.26	3.80	0.14	25.7	99.9
11	2020-08-09 18:01:53 UTC	0.21	0.22	3.83	0.20	26.8	99.9
12	2020-08-09 18:04:58 UTC	0.21	0.20	3.32	0.16	27.0	99.9
13	2020-08-09 18:17:10 UTC	0.17	0.23	3.25	0.15	26.5	99.9
14	2020-08-09 18:20:16 UTC	0.16	0.21	3.04	24.08	26.7	99.9
15	2020-08-09 18:23:21 UTC	0.15	0.21	3.10	4.41	28.8	99.9
16	2020-08-09 18:26:27 UTC	0.12	0.18	2.88	1.07	30.2	99.9
17	2020-08-09 18:29:33 UTC	0.14	0.19	2.84	0.51	26.0	99.9
18	2020-08-09 18:32:38 UTC	0.13	0.15	1.72	0.33	27.8	76.3
19	2020-08-09 18:35:44 UTC	0.14	0.19	2.78	0.28	21.5	76.8

En la Figura 63, se muestra la representación de dichas muestras con relación a la cantidad de muestras realizadas de los elementos climatológicos.



**Figura 63. Toma de muestras en el puente Acho I.**

En la Figura 64, se muestra la representación de los parámetros de gases obtenidos en la toma de muestras.



**Figura 64. Toma de muestras en el puente Acho II.**

En la Tabla 24, se representa los valores mínimos y máximos de la muestra tomada en el puente Acho para conocer los rangos de exposición de cada parámetro al que se encuentran expuestos las personas.

**Tabla 24. Información obtenida de la toma muestra I.**

PARAMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
Temperatura	(C°)	19.80	30.20	24.61
Humedad	(%)	76.30	99.90	97.44
Metano	ppm	0.15	1.13	0.33
Dióxido de carbono	ppm	0.11	24.08	1.73
Humo	ppm	0.12	5.40	0.62
Monóxido de carbono	ppm	1.72	8.96	4.18
PM10	ug/m <sup>3</sup>	95.80	174.62	132.45

### **Caso 2: Avenida Abancay- Distrito de Lima.**

La segunda toma de muestra de calidad de aire en zonas urbanas se realizó en la avenida Abancay por su alta congestión vehicular, zona concurrida por millones de personas diariamente por

motivos laborales o adquisición de productos y materia prima, falta de limpieza pública a sus alrededores (Figura 65).



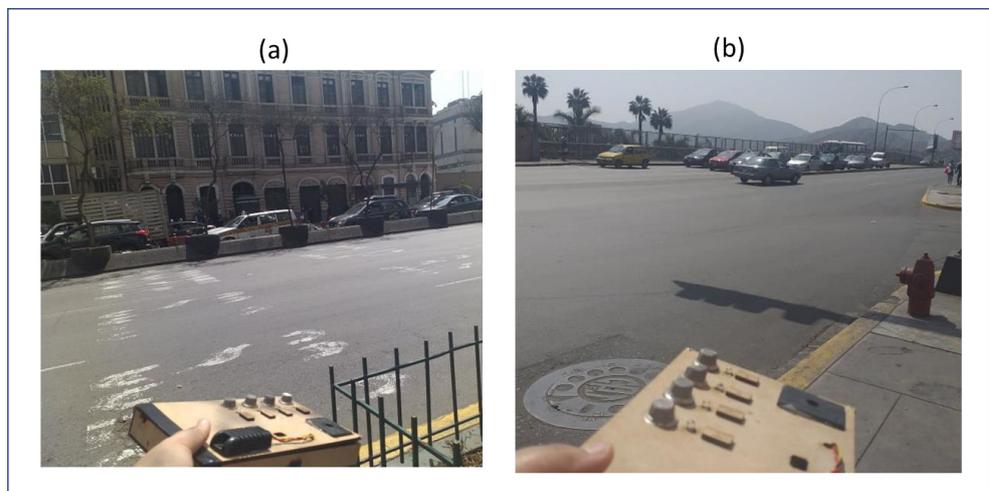
**Figura 65. Ubicación de la toma de muestras II.**

**Fuente: Google Earth**

El tiempo de inicio de la muestra se inicia desde el inicio de la publicación del primer sensor (sensor de humo MQ-2) en Adafruit. Información de la muestra:

- Día y hora nacional de la muestra inicial: 13:28:35 07/09/2020
- Día y hora UTC inicial: 18:28:35 07/09/2020

En la Figura 66, se muestran fotografías de la toma de muestras usando el dispositivo en funcionamiento en la avenida Abancay para la obtención de datos de los parámetros en mención.



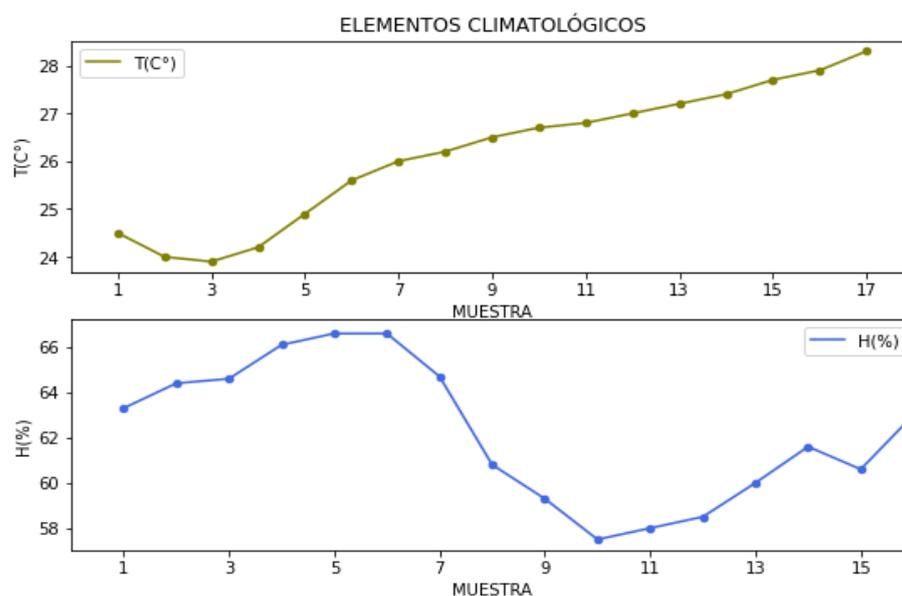
**Figura 66. Fotografías de la toma de muestras en la avenida Abancay.**

Debido a la gran cantidad de datos recolectados se tomó una pequeña muestra mostrada en la Tabla 25, en donde el tiempo de muestreo representa la primera lectura por parte de la medición de la concentración de humo y seguidamente los posteriores sensores.

**Tabla 25. Información de muestras de la avenida Abancay.**

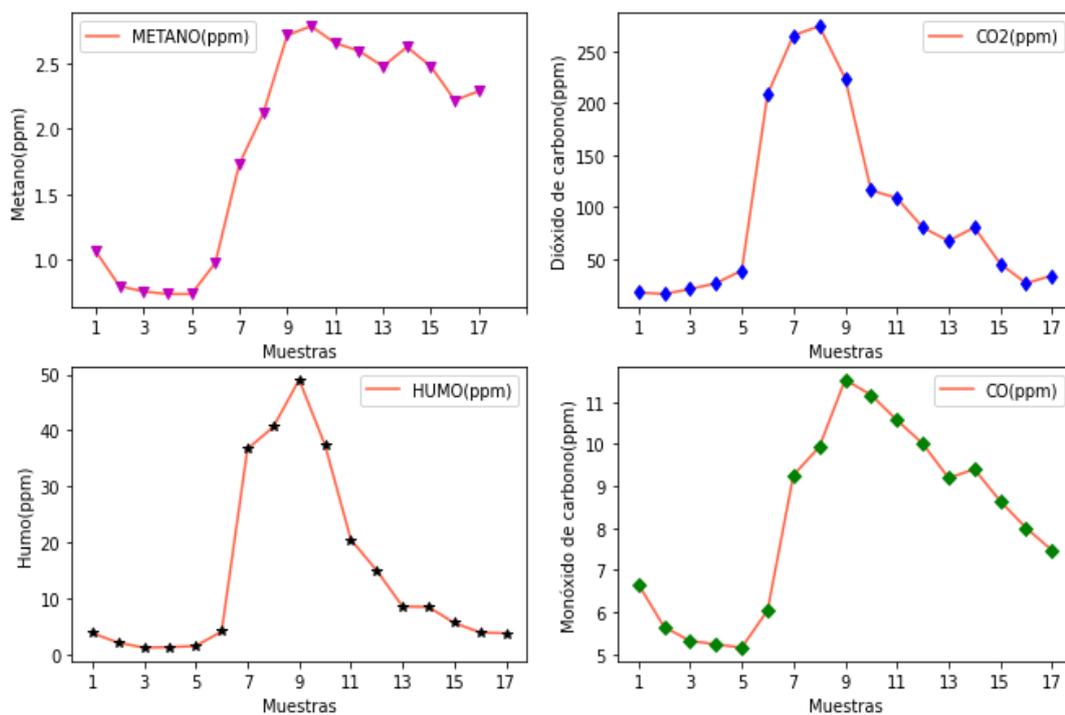
M	TIEMPO DE MUESTREO	HUMO (ppm)	METANO (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	T (C°)	H (%)
1	2020-09-07 18:28:35 UTC	3.89	1.06	6.66	18.18	24.5	63.3
2	2020-09-07 18:31:15 UTC	2.18	0.79	5.64	16.67	24.0	64.4
3	2020-09-07 18:33:56 UTC	1.30	0.75	5.31	21.45	23.9	64.6
4	2020-09-07 18:36:38 UTC	1.39	0.73	5.23	26.98	24.2	66.1
5	2020-09-07 18:39:19 UTC	1.60	0.73	5.15	39.24	24.9	66.6
6	2020-09-07 18:42:00 UTC	4.17	0.97	6.04	208.62	25.6	66.6
7	2020-09-07 18:44:40 UTC	36.70	1.73	9.26	265.06	26.0	64.7
8	2020-09-07 18:47:21 UTC	40.63	2.12	9.93	273.90	26.2	60.8
9	2020-09-07 18:50:02 UTC	49.03	2.72	11.53	223.79	26.5	59.3
10	2020-09-07 18:52:43 UTC	37.38	2.79	11.17	116.29	26.7	57.5
11	2020-09-07 18:55:23 UTC	20.55	2.66	10.57	108.95	26.8	58.0
12	2020-09-07 18:58:04 UTC	15.04	2.60	10.01	80.65	27.0	58.5
13	2020-09-07 19:00:45 UTC	8.63	2.48	9.19	67.62	27.2	60.0
14	2020-09-07 19:03:25 UTC	8.55	2.63	9.40	80.65	27.4	61.6
15	2020-09-07 19:06:06 UTC	5.70	2.48	8.64	45.78	27.7	60.6
16	2020-09-07 19:08:47 UTC	4.01	2.22	8.00	26.98	27.9	63.0
17	2020-09-07 19:11:28 UTC	3.85	2.29	7.47	34.45	28.3	66.8

En la Figura 67, se muestra la representación de dichas muestras con relación a la cantidad de muestras realizadas de los elementos climatológicos.



**Figura 67. Toma de muestras en la avenida Abancay I.**

En la Figura 68, se muestra la representación de los parámetros de gases obtenidos en la toma de muestras de la avenida Abancay.



**Figura 68. Toma de muestras en la avenida Abancay II.**

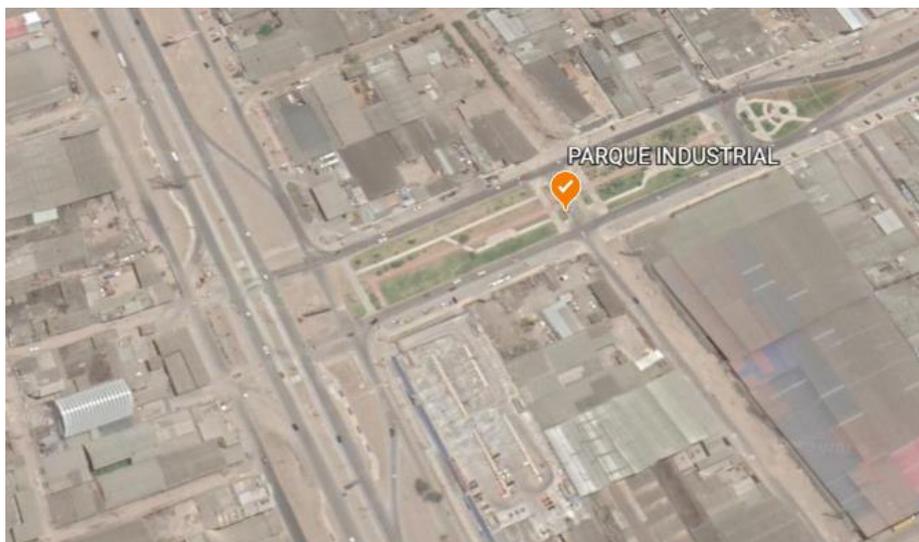
En la Tabla 26, se representa los valores mínimos y máximos de la muestra tomados en la avenida Abancay para conocer los rangos de los parámetros a los que se expone una persona que transitan por dicho lugar.

**Tabla 26. Información obtenida de la toma muestra II.**

PARAMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
Temperatura	(C°)	23.90	28.30	26.16
Humedad	(%)	57.50	66.80	62.49
Metano	ppm	0.73	2.79	1.87
Dióxido de carbono	Ppm	16.67	273.90	97.37
Humo	Ppm	1.30	49.03	14.39
Monóxido de carbono	Ppm	5.15	11.53	8.19
PM10	ug/m <sup>3</sup>	102.56	174.69	146.98

### **Caso 3: Parque Industrial- Distrito de Villa el Salvador**

La tercera toma de muestra de calidad de aire en zonas urbanas se realizó en la zona denominada “Parque Industrial”, lugar en donde se ubican diferentes fábricas de materia prima, falta de limpieza pública (Figura 69).



**Figura 69. Ubicación de la toma de muestras III.**

**Fuente: Google Earth**

El tiempo de inicio de la muestra se inicia desde el inicio de la publicación del primer sensor (sensor MQ-2) en Adafruit IO.

Información de la muestra:

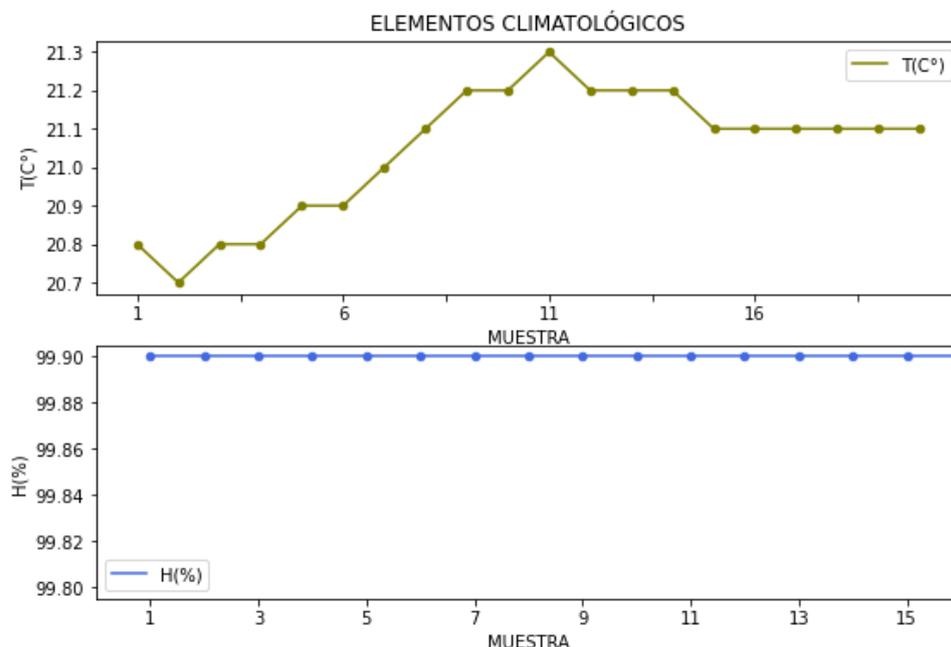
Debido a la gran cantidad de datos recolectados se tomó una pequeña muestra mostrada en la Tabla 27, en donde el tiempo de muestreo representa la primera lectura por parte de la medición de la concentración de humo y seguidamente los posteriores sensores. Los datos recolectados al ser descargados, el tiempo de muestra se descarga con el Tiempo Universal Coordinado (UTC) con diferencia de -5 horas de la hora nacional por lo que los datos representados deberán ser interpretados con la hora mundial.

- Dia y hora nacional de la muestra inicial: 07:12:39 01/09/2020
- Dia y hora UTC inicial: 00:12:32 02/09/2020

**Tabla 27. Información de muestras de Parque Industrial.**

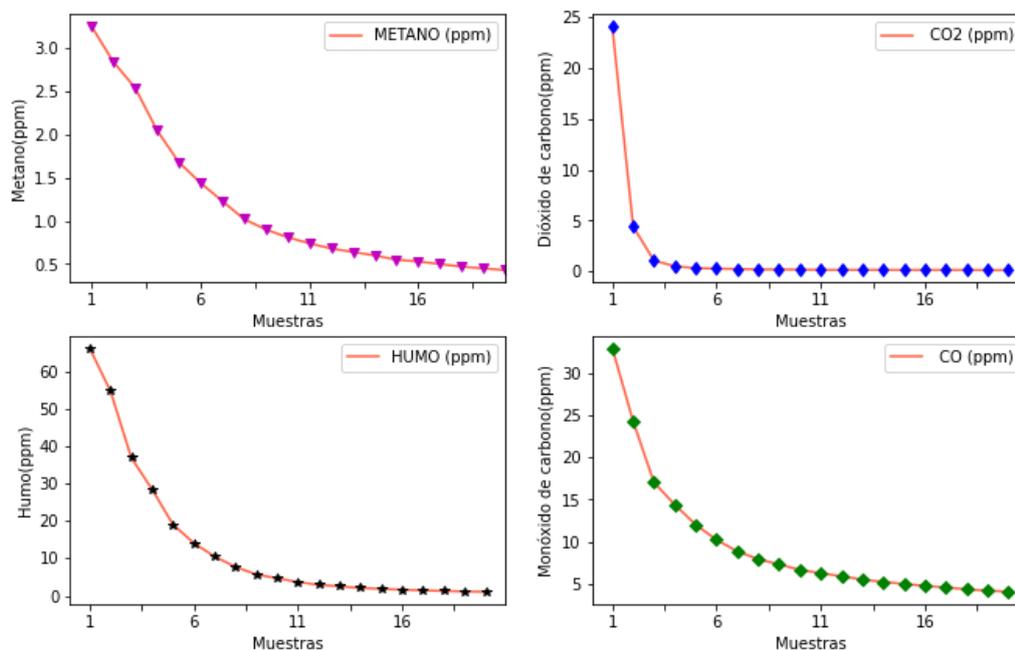
M	TIEMPO DE MUESTREO	HUMO (ppm)	METANO (ppm)	CO (ppm)	CO2 (ppm)	T (C°)	H (%)
1	2020-09-02 00:12:32 UTC	66.14	3.25	33.03	24.08	20.8	99.9
2	2020-09-02 00:15:37 UTC	54.67	2.84	24.32	4.41	20.7	99.9
3	2020-09-02 00:18:43 UTC	36.86	2.54	17.05	1.07	20.8	99.9
4	2020-09-02 00:21:49 UTC	28.40	2.05	14.39	0.51	20.8	99.9
5	2020-09-02 00:24:54 UTC	19.02	1.68	12.02	0.33	20.9	99.9
6	2020-09-02 00:28:00 UTC	14.06	1.44	10.22	0.28	20.9	99.9
7	2020-09-02 00:31:06 UTC	10.47	1.23	8.84	0.24	21.0	99.9
8	2020-09-02 00:34:12 UTC	7.70	1.02	7.92	0.20	21.1	99.9
9	2020-09-02 00:37:17 UTC	5.68	0.90	7.30	0.19	21.2	99.9
10	2020-09-02 00:40:23 UTC	4.68	0.81	6.64	0.18	21.2	99.9
11	2020-09-02 00:43:29 UTC	3.64	0.74	6.25	0.15	21.3	99.9
12	2020-09-02 00:46:34 UTC	2.91	0.68	5.88	0.15	21.2	99.9
13	2020-09-02 00:49:40 UTC	2.51	0.64	5.50	0.15	21.2	99.9
14	2020-09-02 00:52:46 UTC	2.08	0.60	5.21	0.15	21.2	99.9
15	2020-09-02 00:55:51 UTC	1.83	0.55	4.97	0.14	21.1	99.9
16	2020-09-02 00:58:57 UTC	1.63	0.53	4.74	0.14	21.1	99.9
17	2020-09-02 01:02:03 UTC	1.43	0.50	4.56	0.14	21.1	99.9
18	2020-09-02 01:05:08 UTC	1.27	0.47	4.32	0.14	21.1	99.9
19	2020-09-02 01:08:14 UTC	1.14	0.45	4.18	0.13	21.1	99.9
20	2020-09-02 01:11:20 UTC	1.07	0.43	4.04	0.13	21.1	99.8

En la Figura 70, se muestra la representación de dichas muestras con relación a la cantidad de muestras realizadas en el Parque Industrial de los elementos climatológicos (temperatura y humedad).



**Figura 70. Toma de muestras en Parque Industrial I.**

En la Figura 71, se muestra la representación de los parámetros de gases (humo, metano, monóxido y dióxido de carbono) obtenidos en la toma de muestras realizadas en el Parque Industrial.



**Figura 71. Toma de muestras en Parque Industrial II.**

En la Tabla 28, se representa los valores mínimos y máximos para el análisis de rangos a los que se exponen los transeúntes de la muestra tomados en el Parque Industrial para conocer los rangos de los parámetros.

**Tabla 28. Información obtenida de la toma muestra II.**

PARAMETRO	UNIDAD	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
Temperatura	(C°)	20.70	21.30	21.05
Humedad	(%)	99.80	99.90	99.90
Metano	ppm	0.43	3.25	1.17
Dióxido de carbono	ppm	0.13	24.08	1.65
Humo	ppm	1.07	66.14	13.36
Monóxido de carbono	ppm	4.04	33.03	9.57
PM10	ug/m <sup>3</sup>	90.10	136.25	105.89

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTOS Y BENEFICIOS**

## 4.1. ANÁLISIS DE COSTOS

### 4.1.1. Recursos Humanos

En la Tabla 29, se muestra el gasto ocasionado de la mano de obra por parte del personal que colaboró en el desarrollo del dispositivo.

Tabla 29. Recursos Humanos.

DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	PERSONAL	MESES	PRECIO UNITARIO	MONTO (S/.)
Jefe de proyecto	1	4	S/1,500.00	S/6,000.00
Ingeniero ambiental	1	1	S/1,000.00	S/1,000.00
Programador en C++	1	2	S/550.00	S/1,100.00
<b>COSTO TOTAL EN RR.HH.</b>				<b>S/8,100.00</b>

### 4.1.2. Recursos Materiales

En la Tabla 30, se presenta los gastos realizados para la ejecución de la investigación como la adquisición de equipos y componentes.

Tabla 30. Recursos materiales.

N°	ACTIVIDADES	CAN.	MATERIALES/OTROS	MONTO (S/.)
		1	Arduino MKR1000	S/ 500.00
		1	Sensor MQ-2	S/ 25.00
		1	Sensor MQ-4	S/ 25.00
		1	Sensor MQ-9	S/ 25.00
		1	Sensor MQ-135	S/ 25.00
	Adquisición de componentes electrónicos	1	Sensor GY210	S/ 50.00
3		1	Sensor DHT-21	S/ 50.00
		1	Protoboard	S/ 25.00
		1	Fuente para protoboard	S/ 20.00
		1	Interruptor	S/ 20.00
		1	Batería 3.7 /2500 mAh	S/ 30.00
		1	Cargador para batería	S/ 20.00
		100	Resistencias 1kΩ, 220Ω	S/ 25.00
		100	Led	S/ 20.00

		40	Cables (Jumpers) de 20 cm	S/	20.00
		1	Estaño	S/	20.00
4	Implementación de la placa electrónica	1	Placa Virgen	S/	20.00
		1	Cautil	S/	25.00
		1	Ácido férrico	S/	21.00
		1	Pasta para soldar	S/	10.00
5	Realización del chasis	1	Pegamento	S/	20.00
		1	Chasis con MDF	S/	200.00
<b>COSTO TOTAL EN R. MATERIALES (S/.)</b>					<b>1,191.00.00</b>

#### 4.1.3. Recursos Software

En la Tabla 31, se menciona los softwares utilizados para la etapa de programación en la realización del dispositivo

Tabla 31. Recursos de Software.

CANT.	DESCRIPCIÓN	PRECIO UNITARIO	COSTO TOTAL
1	Arduino IDE	0.00	S/ 0.00
1	Sublime Text	0.00	S/ 0.00
<b>COSTO TOTAL EN SOFTWARE</b>			<b>S/ 0.00</b>

#### 4.1.4. Otros gastos

En la Tabla 32, se muestra otros gastos realizados en la elaboración del proyecto de tesis.

Tabla 32. Otros gastos.

N°	ACTIVIDAD	CANT.	MATERIAL/OTROS	MONTO
1	Recolección de información		Participación en conferencias	S/ 50.00
			Compra de libros y artículos referentes a IoT	S/ 200.00
			Participación en cursos de programación y electrónica	S/ 400.00
2	Pasajes		Pasajes para compra de materiales	S/ 15.00
			Pasajes para toma de pruebas	S/ 50.00
3	Web service		Adafruit IO	S/ 35.06
4	Herramientas	1	Laptop	S/2,664.94
		1	Taladro	S/300.00
<b>COSTO DE OTROS GASTOS</b>				<b>S/3,715.00</b>

Finalmente, en la Tabla 33, se muestra los costos totales en los recursos humanos, materiales y otros gastos en la elaboración de la tesis.

**Tabla 33. Gastos Totales.**

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL
Recursos Humanos	S/. 8 100.00
Recursos Materiales	S/. 1 191.00
Recursos de Software	S/. 0.00
Otros Gastos	S/. 3 715.00
<b>COSTOS TOTALES DEL PROYECTO</b>	<b>S/. 13 006.00</b>

## 4.2. ANÁLISIS DE BENEFICIOS

### 4.2.1. Beneficios Tangibles

Para la construcción del dispositivo de Internet de las Cosas, el cual tiene como finalidad medir y monitorear la calidad de aire en zonas urbanas, por lo que cobrará una utilidad del 30% del monto de la implementación.

$$Precio_{Sin\ IG\ V} = Costo_{Unitario} + Utilidad \quad (19)$$

Reemplazando:

$$Precio_{Sin\ IG\ V} = 13\ 006.00 + 30\%$$

$$Precio_{Sin\ IG\ V} = 16\ 907.00 \text{ soles}$$

Costo del dispositivo con IG\ V (18%):

$$Precio_{Con\ IG\ V} = 16\ 907.00 + 18\%$$

$$Precio_{Con\ IG\ V} = 19\ 951.00 \text{ soles}$$

#### **4.2.2. Beneficios Intangibles**

La implementación del dispositivo contempla los siguientes beneficios:

- Obtener la información de zonas urbanas con niveles de umbral alto en pésima calidad del aire, lo que contribuiría presentar esta información a la población para mostrar conciencia en el cuidado y prevención para reducir de manera significativa la cantidad de pacientes por problemas respiratorios.
- El uso del dispositivo permitiría realizar estudios de manera rápida y eficiente en zonas que se encuentran a los alrededores de las industrias.
- El uso de esta información y de los registros obtenidos permitirán realizar estudios para las comunidades y que fomenten planes para cuidar el medio ambiente y la salud de la población.

### 4.3. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

#### 4.3.1. Desarrollo del flujo de caja

En la Tabla 34, se muestra el flujo de caja del proyecto en un tiempo de 12 meses, teniendo en cuenta la inversión final y los gastos generados por los recursos para la implementación del dispositivo de Internet de las Cosas.

**Tabla 34. Caja de Flujo del proyecto.**

MESES	MES 0	MES 1	MES 2	MES 3	MES 4	MES 5	MES 6	MES 7	MES 8	MES 9	MES 10	MES 11	MES 12
CANT.		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>INGRESOS</b>													
INGRESO CON IG (18%)	S/0.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00	S/19,951.00
INGRESO SIN IG	S/0.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00	S/16,907.00
<b>EGRESOS</b>													
INVERSION INICIAL	S/13,006.00												
RECURSOS HUMANOS	S/8,100.00												
RECURSO MATERIAL	S/1,191.00												
RECURSO SOFTWARE	S/0.00												
GASTOS EXTRA	S/3,715.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00	S/4,500.00
PRODUCCION	S/0.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00	S/8,506.00
TOTAL DE EGRESO	-S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00	S/13,006.00
GANANCIA	S/0.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00	S/3,901.00
<b>FLUJO DE CAJA</b>	<b>-S/13,006.00</b>	<b>-S/9,105.00</b>	<b>-S/5,204.00</b>	<b>-S/1,303.00</b>	<b>S/2,598.00</b>	<b>S/6,499.00</b>	<b>S/10,400.00</b>	<b>S/14,301.00</b>	<b>S/18,202.00</b>	<b>S/22,103.00</b>	<b>S/26,004.00</b>	<b>S/29,905.00</b>	<b>S/33,806.00</b>

En la Figura 72, muestra el flujo de caja del dispositivo con una proyección de 1 año implementando y vendiendo un dispositivo cada mes.

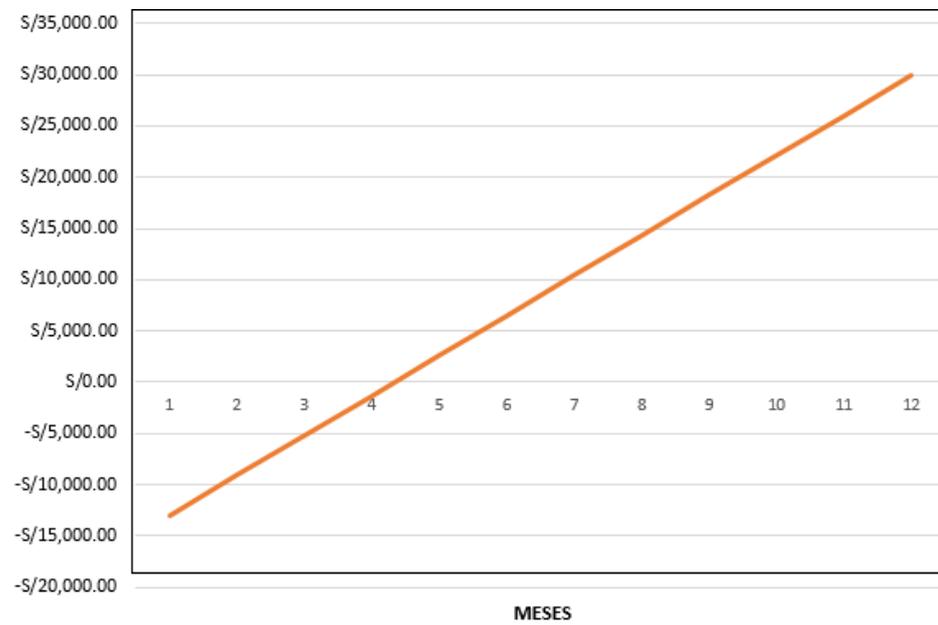


Figura 72. Flujo de caja.

#### 4.3.2. Análisis de VAN

En esta parte, se calculará el Valor de Actual Neto con la información obtenida del flujo de caja neto (Tabla 34), la producción del proyecto iniciará produciendo la implementación y venta de un dispositivo mensual, y se mantendrá una tasa de interés del 10% por el primer año.

- Monto de Inversión Inicial ( $I_0$ )= S/. 13 006.00
- Tiempo ( $t$ ) = 12 meses
- Flujo neto en el tiempo ( $F_t$ ) de 12 meses.

Se utilizará la ecuación 21:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1+k)^t} - I_0 \quad (21)$$

Obteniendo el valor de:

$$Valor Actual Neto (VAN) = 41\ 600 \text{ soles}$$

### 4.3.3. Análisis de TIR

En esta parte, se calculará la Tasa de Interna de Retorno con la finalidad de obtener el porcentaje de viabilidad de la realización del proyecto.

- Monto de Inversión Inicial ( $I_0$ )= S/. 13 006.00
- Tiempo ( $t$ ) = 12 meses
- Flujo neto en el tiempo ( $F_t$ ) de 12 meses.

Se utilizará la ecuación 22 para el cálculo del TIR

$$\sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} + I_0 = 0 \quad (22)$$

Obteniendo el valor del:

$$Tasa\ Interna\ de\ Retorno\ (TIR) = 24\%$$

## Conclusiones

- Lima es la segunda ciudad más contaminada de América Latina, lo que involucra un problema para todos los ciudadanos. A pesar de existir leyes nacionales que involucran el cuidado del medio ambiente en base a la regulación y control de emisiones esto no parece ser suficiente. Las principales enfermedades que podrían provocar en la salud son la disminución de la frecuencia respiratoria, el asma, la enfermedad de pulmonar de obstrucción crónica y el cáncer de pulmón. Así mismo, esta situación se ve reflejada en el cambio de color que van teniendo los pulmones en las diferentes etapas de la vida de las personas.
- Se concluye que los equipos que son utilizados para la medición por parte de instituciones públicas y privadas son de gran tamaño lo que genera gasto en la obtención del equipo, desplazamiento para la toma de muestras.
- Asimismo; el diseño e implementación del dispositivo cumple con características técnicas esenciales para la problemática como el bajo consumo, fácil desplazamiento, de mínimo margen de error, de sistema abierto, que mida los parámetros de los elementos climatológicos y los valores de las concentraciones de contaminantes en tiempo real con la aplicación de Internet de las Cosas. mediante la conexión del dispositivo a Internet.
- De igual manera; la importancia del uso del dispositivo para estudios ambientales, el cual cuenta con un sistema abierto y permite la adaptación de componentes para nuevas aplicaciones a futuro.
- Finalmente; la plataforma de monitoreo de calidad de aire trabaja en tiempo real mostrando la lectura de los sensores que se encuentran incorporados en el dispositivo de Internet de las Cosas, para posteriormente poder visualizar y descargar datos de las tomas de muestras realizadas.

## Recomendaciones

- Se recomienda, conocer la calidad de aire que respiran las personas diariamente por la influencia que ocasiona en la salud de las personas que se encuentran diariamente expuestas a respirar elevadas concentraciones de contaminantes; por lo que como medida de prevención es no acercarse a lugares en donde se hallan ocurrido incendios, fuga de gas y avenidas con altas congestión vehicular especialmente las personas sensibles como el caso de los menores de edad, adultos mayores y mujeres gestantes.
- Se recomienda, publicar la información de la calidad de aire por parte de las autoridades e instituciones encargadas; para que la población tome conciencia del riesgo y de la falta de buenas prácticas para la regulación y control de las emisiones que afectan la calidad del aire.
- Se recomienda, el uso del equipo para estudios ambientales por su alta precisión en sus lecturas de parámetros. Así mismo para los análisis de campo mayores al tiempo de duración de la batería (3 horas y 58 minutos), por lo que se recomienda conectarlo a una fuente de alimentación de 5 voltios o cambiar de batería por una de mayor amperaje.
- Se recomienda; el desarrollo de un sistema que promueva la instalación de varios equipos, posicionados en diferentes zonas para controlar y regular las emisiones de contaminantes en las ciudades y lugares que pertenecen al patrimonio nacional.
- Se recomienda trabajar con los datos obtenidos por el dispositivo para el desarrollo de análisis predictivos (*Machine Learning*) para generar alertas en la prevención de problemas en la salud a causa de la contaminación.

## Glosario

- **Arduino:** Empresa encargada de diseñar placas de desarrollo para la realización de proyectos enfocados en la construcción de dispositivos con aplicaciones electrónicas.
- **Enfermedad Pulmonar de Obstrucción Crónica (EPOC):** Enfermedad causada por la alta frecuencia a la exposición a las partículas en suspensión y contaminantes atmosféricos que causa la dificultad respiratoria.
- **Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónico (IEEE):** Es una asociación mundial de ingenieros encargados de innovar y normalización buscando el desarrollo.
- **Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI):** Es el órgano encargado de supervisar las actividades estadísticas a nivel nacional.
- **Lenguajes C/C++:** Son didácticos, estos lenguajes permiten la manipulación de objetos.
- **Ministerio del Ambiente del Perú (MINAM):** Es el órgano encargado de conservar los recursos naturales y proteger el ecosistema a nivel nacional.
- **Ministerio de Salud del Perú (MINSA):** Es el órgano encargado de brindar bienestar a los habitantes brindándoles un beneficio.
- **MQ Telemetry Transport (MQTT):** Es un protocolo de comunicación utilizado para pequeños paquetes de datos en el Internet utilizando sus dos principales tipos de mensajes.
- **Organización Mundial de la Salud (OMS):** Es un organismo encargado de gestionar la prevención y prevención en políticas de salud a nivel mundial.
- **Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI):** Es el organismo encargado de brindar información climatológica y pronóstico del tiempo en las diferentes zonas que se utilizan para estudios científicos.

## Referencias

- Acosta, R. y Yauri, R. (2018). *Internet de las Cosas con Arduino y NodeMCU*. Lima: Instituto Nacional de Investigación y Capacitación de Telecomunicaciones.
- Adafruit IO (17 de enero de 2015). *Adafruit IO*. Recuperado de <https://io.adafruit.com/>
- Agarwal, A., Rajesh, B. y Saravanan, K. (2014). *Proficient Modus Operandi for Scrutinize Air Pollution Using Wireless Sensor Network*. 2014 International Conference on Circuits, Power and Computing Technologies [ICCPCT-2014], 1312-1316. Doi: 10.1109/ICCPCT.2014.7054852
- Amable, I., Bello, B.M., Benítez, B., Escobar, L.M., Méndez, J. y Zamora, R. (2017). Influencia de los contaminantes atmosféricos sobre la salud. *Revista Médica Electrónica*, 39(5), 1160-1171. Recuperado de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1684-18242017000500017](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1684-18242017000500017)
- Aragón, J.O. (2014). *Diseño e implementación de una plataforma de gestión de una red de sensores aplicada a la monitorización de la calidad ambiental en la cuenca del río Napo* (tesis de grado). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5594>
- Arias, J.J. y Morales, T. (2013). *Contaminación vehicular en la conurbación preira-dosquebradas*. *Revista Luna Azul*, 37, 101-129. Recuperado de <http://www.scielo.org.co/pdf/luaz/n37/n37a09.pdf>
- Arduino (15 de agosto de 2016). *Arduino Introducción*. Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- Arduino (17 de enero de 2019). *Getting started with the Arduino-Genuine MKR1000*. Recuperado de <https://www.arduino.cc/en/Guide/MKR1000>
- Barreto, H.E., Del Mar, R., Farfán, C. Jeri, L.A. y Paredes, A. (2017). *Factores facilitadores de adopción del Internet de las Cosas en los hogares* (tesis

- de maestría). Recuperado de <https://repositorio.esan.edu.pe/handle/20.500.12640/881>
- Biosait Europe (11 de febrero de 2019). *¿Que son las PM 2.5 y las PM 10?* Recuperado de <https://biosait.com/que-son-las-pm-2-5-y-las-pm-10/>
- Breathe Life (15 de Agosto de 2020). *The air pollution in Lima, Peru.* Recuperado de <https://breathelife2030.org/the-issue/air-quality-in-your-city/>
- Budiarto, A. y Febriana, T. (2017). IoT device used for air pollution campaign to encourage cycling habit in Inverleith neighborhood. *2017 International Conference on Information Management and Technology (ICIMTECH)*, 356-360. Doi: 10.1109 / ICIMTech.2017.8273565
- Cáceres, D.D. (2015). *Evaluación de los efectos agudos en la función pulmonar por exposición a material particulado fino (PM2.5) en niños que viven en una playa masivamente contaminada con relaves mineros* (tesis doctoral). Recuperado de <https://www.tdx.cat/handle/10803/333059#page=1>
- Caicedo, S. (2017). *Diseño de un sistema de tecnología abierta para la medición de material particulado en la ciudad de Santa Elena* (tesis de maestría). Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/22251>
- Campos, E.V. (2017). *Construcción, calibración y validación de dispositivos de registro de datos de bajo coste para el monitoreo de material particulado* (tesis de grado). Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú.
- Cisco Networking Academy Builds IT & Education (2016). *Introduction to IoT español*. Recuperado de <https://www.netacad.com/es>
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe (n.d.). *Medio ambiente*. Recuperado de <https://www.cepal.org/es/temas/medio-ambiente>

- Delgado, J. y Marco, F. (2016). *Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino* (tesis de grado). Universidad Zaragoza, Zaragoza, España.
- Djebri, N. y Rouainia, M. (2017). Artificial neuronal networks-based air pollution monitoring in industrial sites. *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET2017)*, 1–5. Doi: 10.1109/ICEngTechnol.2017.8308151
- Dugdale, J. Ghazi, S. y Khadir, T. (2016). Modelling air pollution crises using multi-agent simulation. *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences HICSS*, 172-177. Doi: 10.1109/HICSS.2016.29
- Enviroequip (15 de septiembre de 2019). *Equipo Muestreador (alto volumen) de material particulado PM-10 en el ambiente Hivol PM-10*. Recuperado de <http://www.enviroequip.pe/cambio-climatico-detalle/equipo-muestreador-alto-volumen-de-material-particulado-pm-10-en-el-ambiente-hivol-pm-10/>
- Eroski Consumer (4 de noviembre de 2005). *Dióxido de carbono, es el principal causante del calentamiento global de la Tierra* [mensaje en un blog]. Recuperado de <https://www.consumer.es/medio-ambiente/dioxido-de-carbono.html>
- Fluke (22 de agosto de 2019). *AirMeter Fluke 975V con sonda de detección de velocidad*. Recuperado de <https://www.fluke.com/es-pe/producto/infraestructura-del-edificio/pruebas-de-calidad-del-aire-en-interiores/fluke-975v>
- Guevara, J. (2017). *Índice de la calidad de aire en el distrito de Morales debido a la presencia de material particulado 2.5 miligramos* (tesis de grado). Recuperado de <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/UPEU/799>
- Hervas, C. (2018). *Análisis de rendimiento de protocolos de Publicación/Subscripción en comunicación con una Red de Sensores*

*Inalámbricos Zigbee* (tesis de maestría). Recuperado de <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69435>

Hilario, N. (2017). *Emisiones contaminantes de vehículos del distrito de Huancayo* (tesis doctoral). Recuperado de <http://181.65.200.104/bitstream/handle/UNCP/4137/Hilario%20Roman.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

IFTTT (n.d.). *IFTTT: Everything works better together*. Recuperado de <https://ifttt.com/>

Improtek Corporación S.A.C. (15 de agosto de 2018). *Medidor de calidad de aire PCE-PQC 21EU incl. certificado de calibración*. Recuperado de [https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-calidad-aire-interior-pce-instruments-medidor-de-calidad-de-aire-pce-pqc-21eu-incl.-certificado-de-calibraci\\_n-det\\_5893884.html](https://www.pce-instruments.com/espanol/instrumento-medida/medidor/medidor-calidad-aire-interior-pce-instruments-medidor-de-calidad-de-aire-pce-pqc-21eu-incl.-certificado-de-calibraci_n-det_5893884.html)

Instituto Nacional de Estadística e Informática (2017). *Encuesta Nacional de Programas Presupuestales*. Recuperado de [https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digiales/Est/Lib1442/cap08.pdf](https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digiales/Est/Lib1442/cap08.pdf)

Instituto Nacional de Salud Pública (14 de febrero de 2019). *Efectos en la salud por la contaminación atmosférica en México*. Recuperado de <https://www.insp.mx/lineas-de-investigacion/saludambiental.html>

Ley No 28611. *Ley General del Ambiente*. Publicado en El Diario Oficial El Peruano, del 13 de octubre del 2005. Perú.

Londoño, G., Molina, E., Quijano, R., Rubiano, C.M. y Zapata, C.E. (2008). *Fortalecimiento de la red de monitoreo de calidad de aire en el Valle de Aburra con medidores pasivos*. *Revista Gestión y Ambiente*, 1(11), 67 – 84. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/9215>

- Llamas, L. (21 de octubre de 2016). *Detector de gases con Arduino y la familia de sensores MQ*. Recuperado de <https://www.luisllamas.es/arduino-detector-gas-mq/>
- López, E.M. (2009). La contaminación del aire y los fallecimientos por enfermedades respiratorias en el área metropolitana de Monterrey, Nueva León (tesis de maestría). Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/76594249.pdf>
- Medina, M.R. y Mujaico, A.A. (2018a). Implementation of a System for the Evaluation of Environmental Factors that Use the Internet of Things. *2018 IEEE Sciences and Humanities International Research Conference (SHIRCON)*, 1-4. Doi: 10.1109/SHIRCON.2018.8593015
- Medina, M.R., Mujaico, A.A. y Soto M.M. (2018b). *Implementation of an evaluation system to measure air quality on public transport routes using the Internet of Things*. In 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI),1-4. Doi: 10.1109/CACIDI.2018.8584346.
- Medina, M.R., Mujaico A.A. y Soto M.M. (2020). *An IoT based Urban Areas Air Quality Monitoring Prototype*. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 11(9), 711-716. Doi 10.14569/IJACSA.2020.0110985
- Merino, J.J. (2017). *Sistema de detección de fuga de gas y control de sistema dual para automóviles* (tesis de grado). Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú.
- Ministerio de Ambiente (16 de julio del 2016). *Informe nacional de la calidad de aire*. Recuperado el de <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2016/07/Informe-Nacional-de-Calidad-del-Aire-2013-2014.pdf>
- Ministerio de Ambiente (15 de agosto de 2019). *Gestión de la calidad de aire*. Recuperado el de <https://www.minam.gob.pe/calidadambiental/zonas-de-atencion-prioritaria/>

Ministerio de Salud (15 de mayo de 2018). *Solicitud de Acceso a la Información Pública*. Recuperado de <https://www.minsa.gob.pe/portada/transparencia/solicitud/frmFormulario.asp>

Moreano, D.I. y Palmisano, A.S. (2013). *Nivel de afectación de la contaminación atmosférica por efectos en la infraestructura del campus universitario del campus universitario debido a la emisión de partículas PM<sub>10</sub> y CO* (tesis de grado). Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1763>

Murriel, F.A. (2017). *Determinación del nivel de contaminación atmosférica por PM<sub>2.5</sub> en el campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina* (tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3124>

Murcia Salud (n.d.). *Monóxido de Carbono*. Recuperado de <https://www.murciasalud.es/pagina.php?id=180398&idsec=1573#>

Organización Mundial de la Salud (2018a). *Calidad de aire y salud*. Recuperado de [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Organización Mundial de la Salud (2018b). *Salud ambiental*. Recuperado de [https://www.who.int/topics/environmental\\_health/es/](https://www.who.int/topics/environmental_health/es/)

Ortiz, J.L. (2017). *Benchmark de selección de sensores para una WSN de recolección de datos para un sistema de alerta temprana de incendios forestales* (tesis de grado). Universidad Técnica del Norte, Ibarra, Ecuador.

Pololu (15 de mayo de 2016). *Gas sensors*. Recuperado de <https://www.pololu.com/category/83/gas-sensors>

Pokrovskaya, E.A., Rizhakova, N.K. y Rogoza, N.S. (2012). *Determination of the influence zone on the atmospheric pollution of chemical elements from a point source (Combined heat and power)*. In 2012 7th

International Forum on Strategic Technology (IFOST), 1 – 5. Doi: 10.1109/IFOST.2012.6357517

Saavedra, J.D. (2014). *Análisis de nuevos escenarios de emisión de contaminantes del parque Automotor generadas en un ambiente de tráfico vehicular* (tesis de grado). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1872>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (15 de enero de 2017). *Monitoreo de la Calidad de aire, para Lima Metropolitana*. Recuperado de <https://www.senamhi.gob.pe/?&p=calidad-del-aire>

Valverde, J. (2015). *Estudio de la calidad del aire afectada por la actividad industrial en la urb. Primavera - distrito de El Agustino*. *Revista del Instituto de Investigación de la facultad de geología, minas, metalurgia y ciencias geográficas*, 18(35), 115-119. Recuperado de <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/view/11848/10575>

Vara, M.E. (2017). *Contaminación atmosférica con material particulado en la ciudad del Cusco y su comportamiento-2016* (tesis de maestría). Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4426>

Yongping, W., Guo, F. y Zhang M. (2014). *The Study on Coal Mine Using the Bluetooth Wireless Transmission*. 2014 IEEE Workshop on Electronics, Computer and Applications, 1016-1018. Doi: 10.1109/IWECA.2014.6845795

## **ANEXOS**

## **Anexo A: Hoja técnica de los componentes electrónicos**

### **A.1. Hoja técnica del Arduino MKR1000**



### TECH SPECS

Microcontroller	SAMD21 Cortex-M0+ 32bit low power ARM MCU
Board Power Supply (USB/VIN)	5V
Supported Battery(*)	Li-Po single cell, 3.7V, 700mAh minimum
Circuit Operating Voltage	3.3V
Digital I/O Pins	8
PWM Pins	12 (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, A3 - or 18 -, A4 -or 19)
UART	1
SPI	1
I2C	1
Analog Input Pins	7 (ADC 8/10/12 bit)
Analog Output Pins	1 (DAC 10 bit)
External Interrupts	8 (0, 1, 4, 5, 6, 7, 8, A1 -or 16-, A2 - or 17)
DC Current per I/O Pin	7 mA
Flash Memory	256 KB
SRAM	32 KB
EEPROM	no
Clock Speed	32.768 kHz (RTC), 48 MHz
LED_BUILTIN	6
Full-Speed USB Device and embedded Host	
LED_BUILTIN	6
Length	61.5 mm
Width	25 mm
Weight	32 gr.

## A.2. Hoja técnica del sensor electroquímico MQ-2

Sensitive material of MQ-2 gas sensor is SnO<sub>2</sub>, which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ-2 gas sensor has high sensitivity to LPG, Propane and Hydrogen, also could be used to Methane and other combustible steam, it is with low cost and suitable for different application.

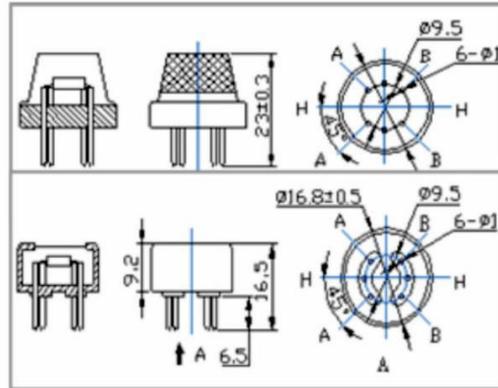
**Character**

- \* Good sensitivity to Combustible gas in wide range
- \* High sensitivity to LPG, Propane and Hydrogen
- \* Long life and low cost
- \* Simple drive circuit

**Application**

- \* Domestic gas leakage detector
- \* Industrial Combustible gas detector
- \* Portable gas detector

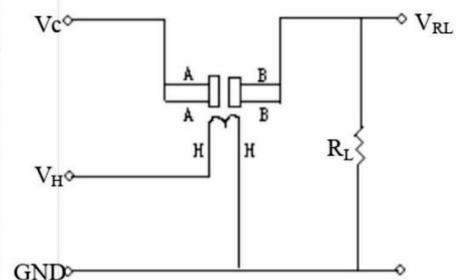
**Configuration**



**Technical Data**

Model No.		MQ-2	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Combustible gas and smoke	
Concentration		300-10000ppm ( Combustible gas)	
Circuit	Loop Voltage	V <sub>c</sub>	≤24V DC
	Heater Voltage	V <sub>H</sub>	5.0V±0.2V AC or DC
	Load Resistance	R <sub>L</sub>	Adjustable
Character	Heater Resistance	R <sub>H</sub>	31Ω±3Ω ( Room Tem. )
	Heater consumption	P <sub>H</sub>	≤900mW
	Sensing Resistance	R <sub>s</sub>	2KΩ-20KΩ (in 2000ppm C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )
	Sensitivity	S	R <sub>s</sub> (in air)/R <sub>s</sub> (1000ppm isobutane) ≥5
	Slope	α	≤0.6 (R <sub>5000ppm</sub> /R <sub>3000ppm</sub> CH <sub>4</sub> )
Condition	Tem. Humidity	20°C±2°C ; 65%±5%RH	
	Standard test circuit	V <sub>c</sub> : 5.0V±0.1V; V <sub>H</sub> : 5.0V±0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	

**Basic test loop**



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage (V<sub>H</sub>) and test voltage (V<sub>C</sub>). V<sub>H</sub> used to supply certified working temperature to the sensor, while V<sub>C</sub> used to detect voltage (V<sub>RL</sub>) on load resistance (R<sub>L</sub>) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, V<sub>c</sub> need DC power. V<sub>C</sub> and V<sub>H</sub> could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R<sub>L</sub> value is needed:  
Power of Sensitivity body (P<sub>s</sub>):  
 $P_s = V_c^2 \times R_s / (R_s + R_L)^2$

**A.3. Hoja técnica del sensor electroquímico MQ-4**

Sensitive material of MQ-4 gas sensor is SnO<sub>2</sub>, which with lower conductivity in clean air. When the target combustible gas exist, The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ-4 gas sensor has high sensitivity to Methane, also to Propane and Butane. The sensor could be used to detect different combustible gas, especially Methane, it is with low cost and suitable for different application.

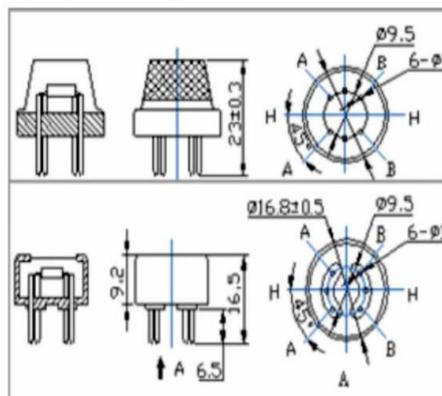
### Character

- \* Good sensitivity to Combustible gas in wide range
- \* High sensitivity to Natural gas
- \* Long life and low cost
- \* Simple drive circuit

### Application

- \* Domestic gas leakage detector
- \* Industrial Combustible gas detector
- \* Portable gas detector

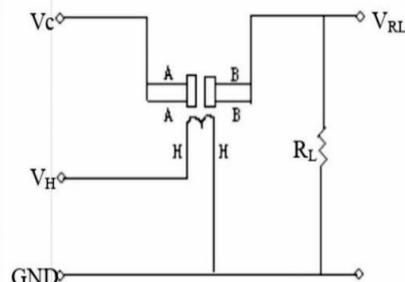
### Configuration



### Technical Data

Model No.		MQ-4	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite (Black Bakelite)	
Detection Gas		Natural gas/ Methane	
Concentration		300-10000ppm ( Natural gas / Methane)	
Circuit	Loop Voltage	V <sub>c</sub>	≤24V DC
	Heater Voltage	V <sub>H</sub>	5.0V±0.2V AC or DC
	Load Resistance	R <sub>L</sub>	Adjustable
Character	Heater Resistance	R <sub>H</sub>	31Ω±3Ω ( Room Tem.)
	Heater consumption	P <sub>H</sub>	≤900mW
	Sensing Resistance	R <sub>s</sub>	2KΩ-20KΩ(in 5000ppm CH <sub>4</sub> )
	Sensitivity	S	R <sub>s</sub> (in air)/R <sub>s</sub> (5000ppm CH <sub>4</sub> )≥5
	Slope	α	≤0.6(R <sub>5000ppm</sub> /R <sub>3000ppm</sub> CH <sub>4</sub> )
Condition	Tem. Humidity	20°C±2°C; 65%±5%RH	
	Standard test circuit	V <sub>c</sub> : 5.0V±0.1V; V <sub>H</sub> : 5.0V±0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	

### Basic test loop



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage(V<sub>H</sub>) and test voltage(V<sub>C</sub>). V<sub>H</sub> used to supply certified working temperature to the sensor, while V<sub>C</sub> used to detect voltage (V<sub>RL</sub>) on load resistance (R<sub>L</sub>) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity, V<sub>c</sub> need DC power. V<sub>C</sub> and V<sub>H</sub> could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better performance, suitable R<sub>L</sub> value is needed:  
Power of Sensitivity body(P<sub>s</sub>):

## A.4. Hoja técnica del sensor electroquímico MQ-9

Sensitive material of MQ-9 gas sensor is  $\text{SnO}_2$ , which with lower conductivity in clean air. It make detection by method of cycle high and low temperature, and detect CO when low temperature (heated by 1.5V). The sensor's conductivity is more higher along with the gas concentration rising. When high temperature (heated by 5.0V), it detects Methane, Propane etc combustible gas and cleans the other gases adsorbed under low temperature. Please use simple electrocircuit, Convert change of conductivity to correspond output signal of gas concentration.

MQ-9 gas sensor has high sensitivity to Carbon Monoxide, Methane and LPG. The sensor could be used to detect different gases contains CO and combustible gases, it is with low cost and suitable for different application.

### Character

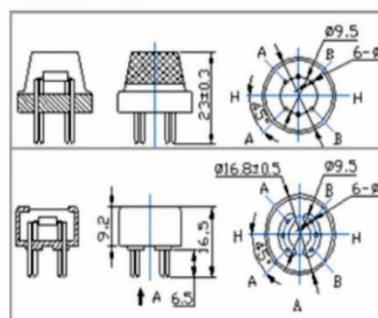
- \* Good sensitivity to CO/Combustible gas
- \* High sensitivity to Methane, Propane and CO
- \* Long life and low cost
- \* Simple drive circuit

### Application

- \* Domestic gas leakage detector
- \* Industrial gas detector
- \* Portable gas detector

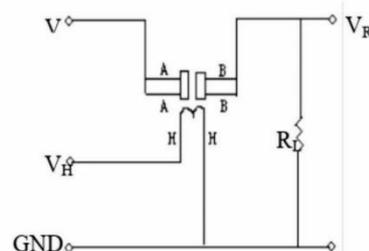
### Technical Data

### Configuration



### Basic test loop

Model No.		MQ-9	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite	
Detection Gas		CO and combustible gas	
Concentration		10-1000ppm CO 100-10000ppm combustible gas	
Circuit	Loop Voltage	$V_c$	$\leq 10V$ DC
	Heater Voltage	$V_H$	5.0V $\pm$ 0.2V AC or DC (High) 1.5V $\pm$ 0.1V AC or DC (Low)
	Heater Time	$T_L$	60 $\pm$ 1S (High) 90 $\pm$ 1S (Low)
	Load Resistance	$R_L$	Adjustable
Character	Heater Resistance	$R_H$	31 $\Omega$ $\pm$ 3 $\Omega$ (Room Tem.)
	Heater consumption	$P_H$	$\leq 350mW$
	Sensing Resistance	$R_s$	2K $\Omega$ -20K $\Omega$ (in 100ppm CO)
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(100\text{ppm CO}) \geq 5$
	Slope	$\alpha$	$\leq 0.6(R_{300\text{ppm}}/R_{100\text{ppm CO}})$
Condition	Tem. Humidity	20 $^{\circ}$ C $\pm$ 2 $^{\circ}$ C; 65% $\pm$ 5%RH	
	Standard test circuit	$V_c$ : 5.0V $\pm$ 0.1V; $V_H$ (High) : 5.0V $\pm$ 0.1V; $V_H$ (Low) : 1.5V $\pm$ 0.1V	
	Preheat time	Over 48 hours	



The above is basic test circuit of the sensor. The sensor need to be put 2 voltage, heater voltage ( $V_H$ ) and test voltage ( $V_C$ ).  $V_H$  used to supply certified working temperature to the sensor, while  $V_C$  used to detect voltage ( $V_{RL}$ ) on load resistance ( $R_L$ ) whom is in series with sensor. The sensor has light polarity,  $V_c$  need DC power.  $V_C$  and  $V_H$  could use same power circuit with precondition to assure performance of sensor. In order to make the sensor with better

## A.5. Hoja técnica del sensor electroquímico MQ-135

### FEATURES

Wide detecting scope      Fast response and High sensitivity  
Stable and long life      Simple drive circuit

### APPLICATION

They are used in air quality control equipments for buildings/offices, are suitable for detecting of NH<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>, alcohol, Benzene, smoke, CO<sub>2</sub>, etc.

### SPECIFICATIONS

#### A. Standard work condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
V <sub>c</sub>	Circuit voltage	5V±0.1	AC OR DC
V <sub>H</sub>	Heating voltage	5V±0.1	AC OR DC
R <sub>L</sub>	Load resistance	can adjust	
R <sub>H</sub>	Heater resistance	33Ω±5%	Room Tem
P <sub>H</sub>	Heating consumption	less than 800mw	

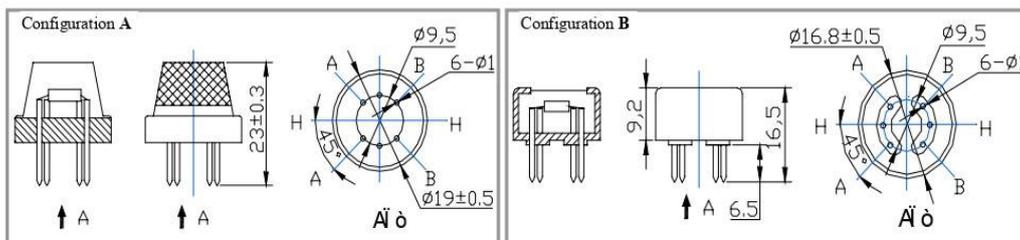
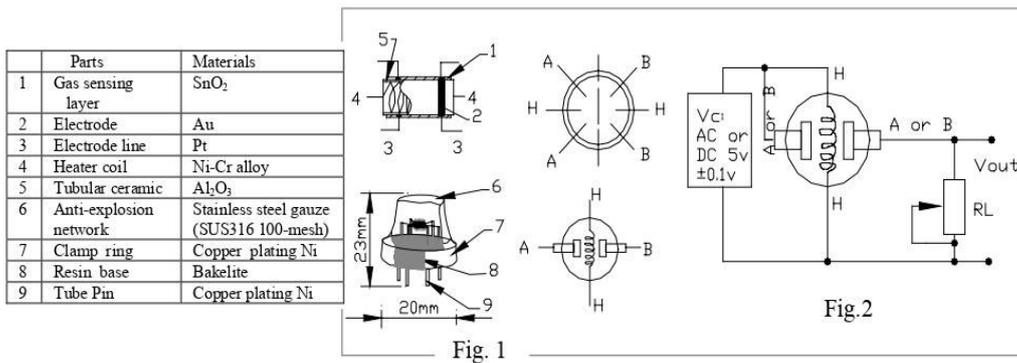
#### B. Environment condition

Symbol	Parameter name	Technical condition	Remarks
T <sub>ao</sub>	Using Tem	-10□-45□	
T <sub>as</sub>	Storage Tem	-20□-70□	
R <sub>H</sub>	Related humidity	less than 95%Rh	
O <sub>2</sub>	Oxygen concentration	21%(standard condition)Oxygen concentration can affect sensitivity	

#### C. Sensitivity characteristic

Symbol	Parameter name	Technical parameter	Remark 2
R <sub>s</sub>	Sensing Resistance	30KΩ-200KΩ (100ppm NH <sub>3</sub> )	Detecting concentration scope 10ppm-300ppm NH <sub>3</sub> 10ppm-1000ppm Benzene 10ppm-300ppm Alcohol
α (200/50) NH <sub>3</sub>	Concentration Slope rate	≤0.65	
Standard Detecting Condition	Temp: 20□±2□ Humidity: 65%±5%	V <sub>c</sub> : 5V±0.1 V <sub>H</sub> : 5V±0.1	
Preheat time	Over 24 hour		

#### D. Structure and configuration, basic measuring circuit



Structure and configuration of MQ-135 gas sensor is shown as Fig. 1 (Configuration A or B), sensor composed by micro Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ceramic tube, Tin Dioxide (SnO<sub>2</sub>) sensitive layer, measuring electrode and heater are fixed into a crust made by plastic and stainless steel net. The heater provides necessary work conditions for work of sensitive

## A.6. Hoja técnica del sensor GP2Y1010AUF

# GP2Y1010AU0F

## Compact Optical Dust Sensor



### ■ Description

**GP2Y1010AU0F** is a dust sensor by optical sensing system.

An infrared emitting diode (IRED) and an phototransistor are diagonally arranged into this device.

It detects the reflected light of dust in air.

Especially, it is effective to detect very fine particle like the cigarette smoke.

In addition it can distinguish smoke from house dust by pulse pattern of output voltage.

### ■ Features

1. Compact, thin package (46.0 × 30.0 × 17.6 mm)
2. Low consumption current (Icc: MAX. 20 mA)
3. The presence of dust can be detected by the photometry of only one pulse
4. Enable to distinguish smoke from house dust
5. Lead-free and RoHS directive compliant

### ■ Compliance

1. Compliant with RoHS directive (2002/95/EC)

### ■ Applications

1. Detecting of dust in the air.
2. Example: Air purifier, Air conditioner, Air monitor

## Anexo B: Código de programación

```
#include <SPI.h>
#include <WiFi101.h>
#include <Wire.h>
#include <SFE_BMP180.h>
#include "Adafruit_MQTT.h"
#include "Adafruit_MQTT_Client.h"
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 6
#define DHTTYPE DHT21

// WiFi parameters
#define WLAN_SSID      "*****"
#define WLAN_PASS      "*****"
// Adafruit IO
#define AIO_SERVER      "io.adafruit.com"
#define AIO_SERVERPORT 1883
#define AIO_USERNAME    "*****"
#define AIO_KEY         "*****"
int RL = 1;
int pin1 = A0;
float Ro2 = 0.09;
double smoke = 0;
int pin2 = A1;
float Ro4 =0.06;
double CH4 = 0;

int pin3 = A3;
float Ro9 = 0.08;
double gCO = 0;
int pin4= A2;
float Ro135 = 1.55;
double CO2 = 0;
int muestreo = A6;
int IRED = 0;
int retardo_1 = 280;
int retardo_2 = 40;
int retardo_3 = 9680;
int valor = 0;
float ppm = 0;
float voltaje = 0;
float densidad_polvo = 0;
float ppm_real = 0;
int i=0;
SFE_BMP180 bmp180;
double PresionNivelMar=1013.25;
double T,P,A;
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE, 15);
;
```

```

WiFiClient client;

Adafruit_MQTT_Client mqtt(&client, AIO_SERVER, AIO_SERVERPORT, AIO_USERNAME, AIO_KEY);
Adafruit_MQTT_Publish temperature = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Temperatura");
Adafruit_MQTT_Publish humidit = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Humedad");
Adafruit_MQTT_Publish humo = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Concentracion_de_Humo");
Adafruit_MQTT_Publish metano = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Concentracion_de_Metano");
Adafruit_MQTT_Publish monoxido = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Monoxido_de_Carbono");
Adafruit_MQTT_Publish dioxido = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Dioxido_de_Carbono");
Adafruit_MQTT_Publish presi = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Presion_Atmosferica");
Adafruit_MQTT_Publish altura = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Altura");
Adafruit_MQTT_Publish polvo = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Polvo_en_ppm");
Adafruit_MQTT_Publish densidad = Adafruit_MQTT_Publish(&mqtt, AIO_USERNAME "/feeds/Densidad_de_polvo");

void setup() {
  dht.begin();
  bmp180.begin();
  Serial.begin(115200);
  Serial.println(F("Adafruit IO Example"));
  Serial.println(); Serial.println();
  delay(10);
  Serial.print(F("Connecting to "));
  Serial.println(WLAN_SSID);
  WiFi.begin(WLAN_SSID, WLAN_PASS);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    delay(500);
    Serial.print(F("."));
    Serial.println();
    Serial.println(F("WiFi connected"));
    Serial.println(F("IP address: "));
    Serial.println(WiFi.localIP());
    connect();
  }
  void loop() {
    if(! mqtt.ping(3)) {
      // reconnect to adafruit io
      if(! mqtt.connected())
        connect();
    }
    MQ_2();
    if (! humo.publish(smoke)) {
      Serial.println(F("Failed"));
    } else {
      Serial.println(F("SE ESTA MOSTRANDO EL VALOR DE HUMO"));
    }
    delay(20000);
    MQ_4();

    if (! metano.publish(CH4)) {
      Serial.println(F("Failed"));
    } else {

```

```

MQ_9();
  if (! monoxido.publish(gCO)) {
    Serial.println(F("Failed"));
  } else {
    Serial.println(F("OK!"));
  }
  delay(20000);
MQ_135();
  if (! dióxido.publish(CO2)) {
    Serial.println(F("Failed"));
  } else {
    Serial.println(F("OK!"));
  }
  delay(20000);
pol();
if (! densidad.publish(densidad_polvo)) {
  Serial.println(F("Failed"));
} else {
  Serial.println(F("se encuentra leyendo el valor de polvo!"));
}
delay(20000);
  if (! polvo.publish(ppm_real)) {
    Serial.println(F("Failed"));
  } else {
    Serial.println(F("se encuentra leyendo el valor DE PPM REAL!"));
  }
  if (! polvo.publish(ppm_real)) {
    Serial.println(F("Failed"));
  } else {
    Serial.println(F("se encuentra leyendo el valor DE PPM REAL!"));
  }
  delay(20000);

pressure();
presi.publish(P);
delay(20000);
  float humidity_data = dht.readHumidity();
  float temperature_data = dht.readTemperature();
  if (! temperature.publish(temperature_data))
    Serial.println(F("Failed to publish temperature"));
  else
    Serial.println(F("Temperature published!"));
  if (! humidit.publish(humidity_data))
    Serial.println(F("Failed to publish humidity"));
  else
    Serial.println(F("Humidity published!"));
  delay(20000);
}
void connect() {
  Serial.print(F("Connecting to Adafruit IO... "));
  int8_t ret;
  while ((ret = mqtt.connect()) != 0) {

```

```

switch (ret) {
  case 1: Serial.println(F("Wrong protocol")); break;
  case 2: Serial.println(F("ID rejected")); break;
  case 3: Serial.println(F("Server unavail")); break;
  case 4: Serial.println(F("Bad user/pass")); break;
  case 5: Serial.println(F("Not authed")); break;
  case 6: Serial.println(F("Failed to subscribe")); break;
  default: Serial.println(F("Connection failed")); break;
}
Serial.println(F("Adafruit IO Connected!"));
}
void MQ_2() {
  float adc_MQ2 = analogRead(pin1);
  float voltaje2 = adc_MQ2 * (3.3 / 1023.0);
  float Rs2=RL*((3.3-voltaje2)/voltaje2);
  smoke=3783.9*pow(Rs2/Ro2, -2.279);
  Serial.print("  smoke:"); Serial.print(smoke);Serial.println("ppm");
}
void MQ_4() {

  int adc_MQ4 = analogRead(pin2);
  float voltaje4 = adc_MQ4 * (3.3 / 1023.0);
  float Rs4=RL*((3.3- voltaje4)/voltaje4);  k
  CH4=1101.3*pow(Rs4/Ro4, -2.709);
  Serial.print("CH4:"); Serial.print(CH4);Serial.println("ppm");
}

void MQ_9() {
  int adc_MQ9 = analogRead(pin3);
  float voltaje9 = adc_MQ9 * (3.3 / 1023.0);
  float Rs9=RL*((3.3-voltaje9)/voltaje9);
  gCO=607.87*pow(Rs9/Ro9, -1.9229);
  Serial.print("CO:"); Serial.print(gCO);Serial.println("ppm");
}

void MQ_135() {
  int adc_MQ135 = analogRead(pin4);
  float voltaje135 = adc_MQ135 * (3.3 / 1023.0);
  float Rs135=RL*((3.3 - voltaje135 )/ voltaje135);
  CO2=116.13*pow(Rs135/Ro135, -2.79);
  Serial.print("CO2:"); Serial.print(CO2);Serial.print("ppm");
}

```

## Anexo C: Publicaciones realizadas.

### C.1. Publicación en el Congreso Argentino de Ciencias Informática y desarrollo de Investigación (CACIDI 2018)

#### Implementation of an evaluation system to measure air quality on public transport routes using the Internet of Things

Publisher: IEEE

[Cite This](#)

3 Author(s)

Martha Medina-De-La-Cruz ; Anderson Mujaico-Mariano ; Martin M. Soto-Cordova [View All Authors](#)

178  
Full  
Text Views



<b>Abstract</b>	<b>Abstract:</b> Air pollution is a global problem because a newspaper people or pedestrians exposed in contact with high emissions of polluting gases such as carbon monoxide, carbon dioxide, methane and among others. The problems of respiratory and cardiovascular diseases are frequent. The idea was implemented in the evaluation system using electrochemical sensors (MQ4, MQ9, and MQ135) to transmit the data to the cloud through the internet of things(IoT) platform, in order to carry out a deeper study of gas concentration Air pollution and assess air quality. The use of the system in the different public transport routes can obtain the levels of the discharges in the different districts of Lima, which are in the future and in the future. Likewise, the system will be able to take tests in real time, at different times to monitor the variation of the different pollutant concentrations.
Document Sections	
I. INTRODUCTION	
II. AIR QUALITY	
III. METHODOLOGY	
IV. RESULTS	
V. FUTURE WORKS	
Authors	<b>Published in:</b> 2018 Congreso Argentino de Ciencias de la Informática y Desarrollos de Investigación (CACIDI)
Figures	<b>Date of Conference:</b> 28-30 Nov. 2018 <b>INSPEC Accession Number:</b> 18327543
References	<b>Date Added to IEEE Xplore:</b> 20 December 2018 <b>DOI:</b> 10.1109/CACIDI.2018.8584348
Keywords	<b>► ISBN Information:</b> <b>Publisher:</b> IEEE
Metrics	<b>Conference Location:</b> Buenos Aires, Argentina

**Fuente: Medina, Mujaico y Soto.**

## C.2. Publicación en la Conferencia Internacional de Investigación de Ciencias y Humanidades (SHIRCON 2018)

### Implementation of a System for the Evaluation of Environmental Factors that Use the Internet of Things

Publisher: IEEE

[Cite This](#)

2 Author(s)

Martha Medina-De-La-Cruz ; Anderson Mujaico-Mariano [View All Authors](#)

64  
Full  
Text Views



#### Abstract

#### Document Sections

- I. Introduction
- II. The Skin
- III. Methodology
- IV. Results
- V. Future Work

#### Authors

#### Figures

#### References

#### Keywords

#### Metrics

#### Abstract:

Environmental factors influence the deterioration of human health, causing various diseases and depend on prolonged exposure in environmental environments where these factors are found in extremely harmful indexes for people. In recent years, the most worrisome environmental factors are air pollution due to the different concentrations of polluting gases and the high rates of ultraviolet radiation. If the time of exposure to the factors is greater, then the damage to health will be harmful. It is estimated that 24% of annual deaths worldwide and 33% of diseases in children under 5 years of age are due to exposure to risks due to environmental factors that could be prevented. For this reason, a measurement system was implemented to evaluate environmental factors and prevent existing diseases. The research project uses the NodeMCU ESP8266 platform for the development of the Internet of Things (IoT), which will allow sending the data to the server using the internet technology of things, where the data acquired by measuring the electrochemical sensors (MQ), temperature and humidity (DHT-22) and ultraviolet radiation sensor (GYML8515). This system works using a Blynk server allowing to monitor the data in real time.

**Published in:** 2018 IEEE Sciences and Humanities International Research Conference (SHIRCON)

**Date of Conference:** 20-22 Nov. 2018

**INSPEC Accession Number:** 18355987

**Date Added to IEEE Xplore:** 31 December 2018

**DOI:** 10.1109/SHIRCON.2018.8593015

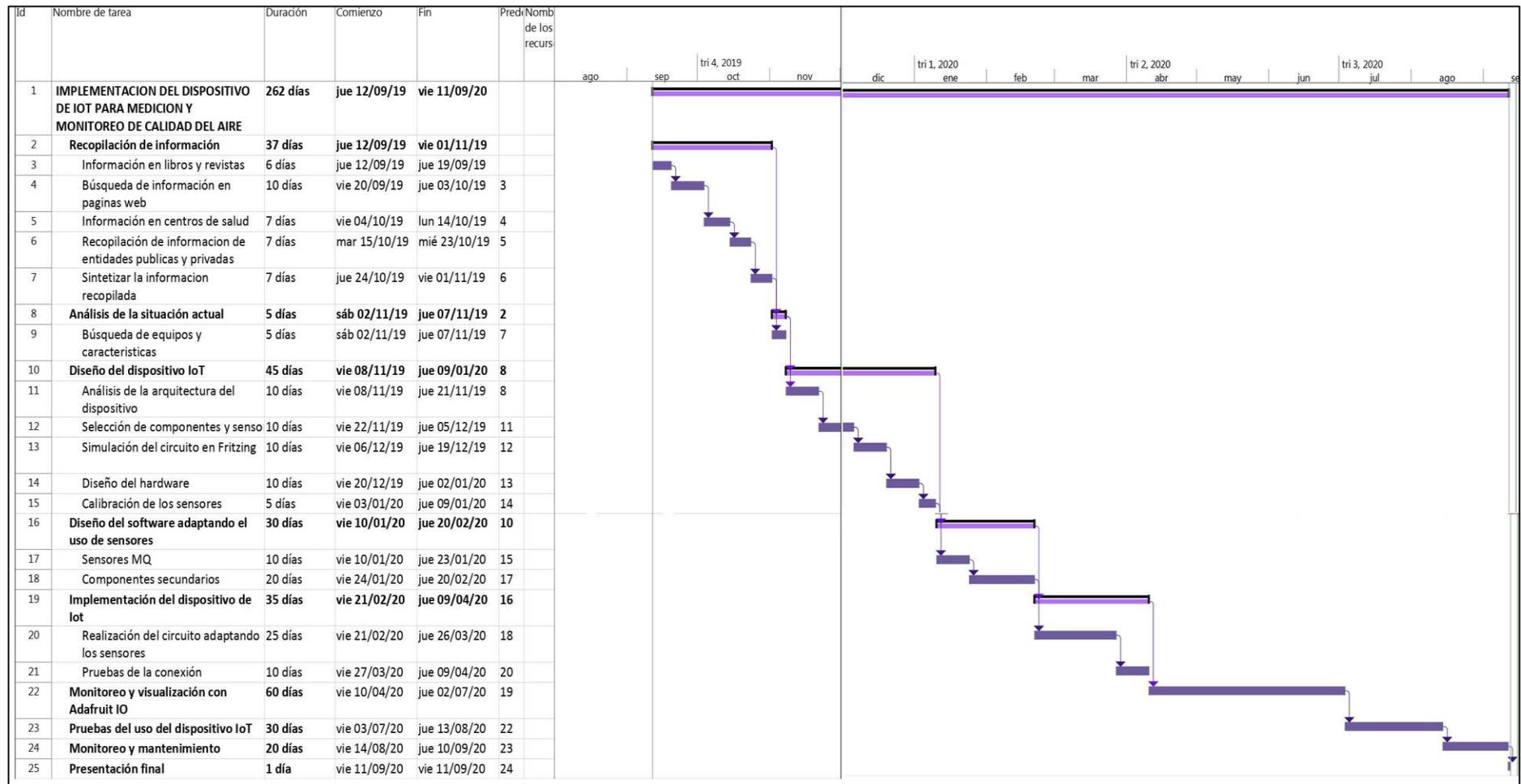
**► ISBN Information:**

**Publisher:** IEEE

**Conference Location:** Lima, Peru

**Fuente: Medina y Mujaico**

## Anexo D: Diagrama de Gantt del proyecto



## Anexo E: Matriz de Investigación

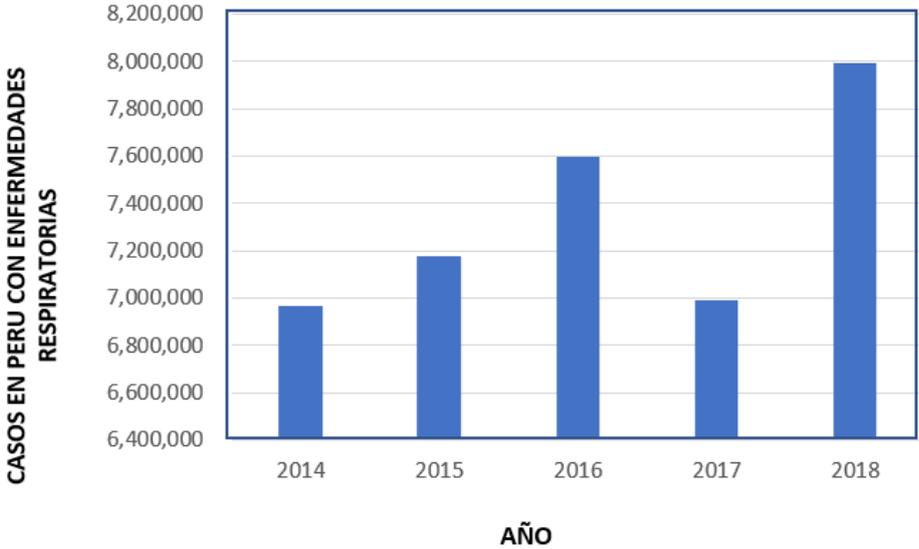
### Título: Diseño e implementación de un dispositivo de Internet de las Cosas para la medición y monitoreo de la calidad de aire en zonas urbanas.

PROBLEMÁTICA	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACCIONES	MARCO TEÓRICO	DESARROLLO	EVALUACIÓN	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
<p>En la actualidad, se presentan aproximadamente 12.6 millones de muertes anuales en el mundo ocasionadas por las elevadas concentraciones de contaminantes en el aire a las que se encuentran frecuentemente expuestas las personas. En el Perú, según la Instituto Nacional Estadísticas e Informática (INEI), el 87% personas que habitan en zonas urbanas en la costa mencionan estar expuesto a altos índices por contaminación del aire.</p> <p>Ante el problema expuesto, se propone la realización de la implementación de un dispositivo de Internet de las Cosas portable para la medición en tiempo real los contaminantes presentes en el aire, permitiendo al usuario conocer las condiciones de la calidad de aire a la que se encuentra expuesto y obtener alertas cuando las condiciones manifiesten un riesgo para la salud.</p> <p>Se busca emplear el dispositivo en las zonas urbanas de Lima, realizando mediciones en tiempo real y utilizando un servicio en la nube para la visualización de datos que permita promover la regulación de las emisiones y contribuir con mejorar la calidad de vida en la salud de las personas.</p>	<p>¿Cómo realizar la medición y monitoreo de las condiciones de la calidad de aire en las zonas urbanas para mejorar la esperanza de vida de las personas?</p>	<p>Diseñar e implementar un dispositivo de Internet de las Cosas para la medición y el monitoreo de la calidad de aire en zonas urbanas.</p>	<p>¿Cuál es la situación actual de los sistemas de monitoreo de la calidad del aire en Lima?</p>	<p>Describir la situación actual de los sistemas de medición y monitoreo de la calidad del aire utilizado en diversas zonas urbanas a nivel nacional.</p>	<p>Investigar la información de los contaminantes en el aire y su influencia en la salud humana.</p>	<p>Contaminación del aire en zonas urbanas. Impacto en la salud humana</p>	<p>Métodos para estudios de calidad de aire. Equipamiento de monitoreo.</p>	<p>Se desplazo el dispositivo a diferentes partes de Lima para medir los parametros de los elementos climatologicos y la concentracion de contaminantes, teniendo en cuenta los tiempos y la zona en donde se realizo cada lectura.</p>	<p>Lima es la segunda ciudad más contaminadas de América, lo que involucra un problema para todos los ciudadanos. A pesar de existir leyes nacionales que involucran el cuidado del medio ambiente en base a la regulación y control de emisiones esto no parece ser suficiente.</p>	<p>Es recomendable conocer la calidad de aire que respiran las personas diariamente por la influencia que la calidad del aire ocasiona en la salud de las personas que se encuentran diariamente expuestas a respirar grandes concentraciones de contaminantes.</p>
			<p>¿Cuáles son las principales directrices utilizadas para medir y evaluar la calidad del aire?</p>	<p>Caracterizar los tipos de dispositivos electrónicos e Internet de las Cosas que permitan medir las directrices.</p>	<p>Investigar los rangos permisibles de las concentraciones de gases y partículas de suspensión para la salud.</p>	<p>Índice de Calidad del aire</p>	<p>Caracterización de los sensores.</p>	<p>Los equipos utilizados para la medición por parte de instituciones públicas y privadas son de gran tamaño lo que genera gasto en transporte y tiempo para la obtención de información que en muchas ocasiones no es accesible para la población.</p>	<p>Se recomienda, la publicación de la información de la calidad de aire en las distintas zonas a nivel nacional para que dicha información sea accesible para la población y se evite problemas en la salud mediante las medidas de prevención.</p>	
			<p>¿Cuáles son las etapas funcionales del dispositivo de Internet de las cosas?</p>	<p>Realizar un diagrama de bloques de las etapas del proceso del dispositivo de Internet de las Cosas.</p>	<p>Establecer el diagrama con las etapas para el proceso de fabricación y funcionamiento del dispositivo.</p>	<p>Internet de las Cosas.</p>	<p>Adquisición de datos. Procesamiento de datos. Envío de datos. Visualización y monitoreo. Alertas</p>	<p>Se concluye en la importancia del Internet de las Cosas para las mejoras en la sociedad.</p>	<p>Se recomienda, analizar la seguridad del servidor web de Aadafruit IO y la protección de datos de las muestras de campo de la calidad de aire.</p>	
			<p>¿Cómo se energizará los elementos y componentes electrónicos para el funcionamiento del dispositivo de Internet de las cosas?</p>	<p>Diseñar un dispositivo para la medición y monitoreo de los contaminantes para evaluar la calidad de aire.</p>	<p>Determinar la arquitectura del dispositivo, en base a sus especificaciones técnicas.</p>	<p>Protocolo de Comunicación MQTT.</p>	<p>Interconexión de sensores. Diseño del circuito. Diseño de la estructura. Diseño del sistema de alertas. Diseño lógico del dispositivo.</p>	<p>El diseño e implementación del dispositivo buscó cumplir con características técnicas para la problemática como: el bajo consumo, fácil desplazamiento, mínimo margen de error, de sistema abierto, que mida los parámetros de los elementos climatológicos y el valor de concentración de contaminantes.</p>	<p>Se recomienda, el uso del equipo para estudios ambientales por su alta precisión en sus lecturas de parámetros. Así mismo para los análisis de campo mayores al tiempo de duración de la batería, se recomienda conectarlo a una fuente de alimentación de 5 voltios.</p>	
			<p>¿Cómo se realizará la implementación del dispositivo de internet de las cosas y su proceso de calibración?</p>	<p>Implementar y validar el dispositivo de internet de las cosas para la medición de los contaminantes en el aire.</p>	<p>Realizar los procesos de calibración de los sensores electroquímicos y partículas de suspensión.</p>	<p>Sensores electroquímicos. Sensor de humedad y temperatura.</p>	<p>Implementación de la placa. Incorporación de sensores. Incorporación de componentes electrónicos. Incorporación de las alertas. Incorporación del chasis.</p>	<p>Se concluye la importancia del uso del dispositivo para estudios ambientales, el cual cuenta con un sistema abierto y permite la adaptación de nuevos componentes para mayores aplicaciones.</p>	<p>Se recomienda el desarrollo de un sistema que promueva la instalación de varios equipos, posicionados en diferentes zonas para controlar y regular las emisiones de contaminantes en las ciudades y lugares que pertenecen al patrimonio nacional.</p>	
			<p>¿De qué manera los usuarios y tomadores de decisión podrán visualizar las concentraciones de contaminantes del aire en zonas urbanas?</p>	<p>Monitorear en tiempo real utilizando el dispositivo de Internet de las Cosas mediante el uso de un servicio en la nube para visualización y evaluación de la contaminación en las zonas urbanas.</p>	<p>Incorporar las herramientas de visualización para el monitoreo de la plataforma de calidad de aire. Realizar el análisis con el uso de Google Colab.</p>	<p>Servicio en la nube. Google Colab</p>	<p>Implementación de la plataforma. Herramientas de visualización. Configuración de las alertas. Calidad de servicio en MQTT. Análisis de funcionamiento.</p>	<p>La plataforma de monitoreo de calidad de aire trabaja en tiempo real mostrando la lectura de los sensores que se encuentran incorporados en el dispositivo de Internet de las cosas, para posteriormente poder visualizar y descargar datos para estudios ambientales.</p>	<p>Se recomienda trabajar con los datos obtenidos por el dispositivo para el desarrollo de análisis predictivos (Machine Learning) para generar alertas en la prevención de problemas en la salud a causa de la contaminación.</p>	

**Anexo F: Estadística de casos en Perú**

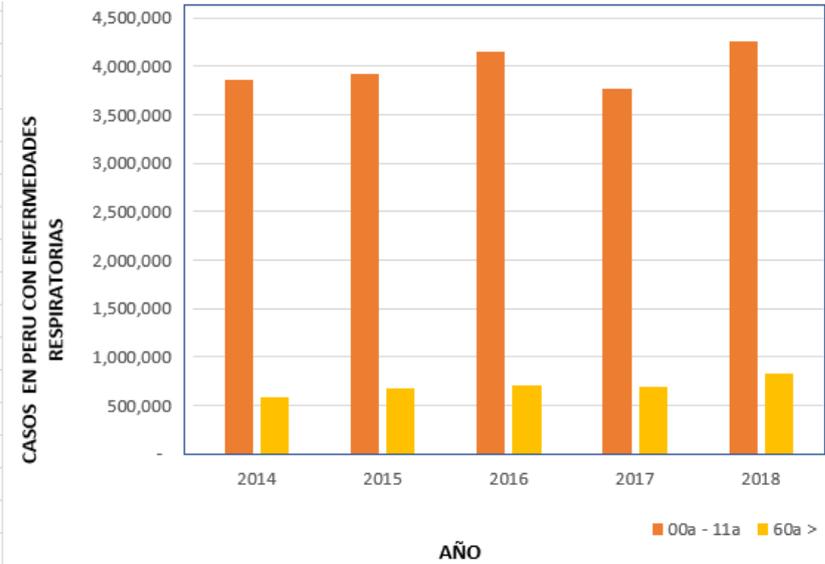
**F.1. Casos de pacientes con enfermedades respiratorias.**

En la siguiente figura caso se muestran los casos ocurridos entre los años 2014 al 2018 con pacientes que han asistido al hospital o centro médico con problemas o enfermedades (MINSA, 2020).



**Figura. Casos de pacientes con enfermedades respiratorias en Perú.**  
**Fuente: Ministerio de Salud**

Los casos preocupantes se manifiestan en los menores de edad y los adultos mayores, tal como se muestra en la figura siguiente los casos presentes de los menores y adultos mayores.



**Figura. Casos de pacientes con enfermedades respiratorias por edades.**  
**Fuente: Ministerio de Salud**