

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL
DE HUAMANGA**

ESCUELA DE POSGRADO

**UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE
INGENIERÍA QUÍMICA Y METALURGIA**



TESIS:

**Modelamiento de escalas de contaminación del aire por el
tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023**

Para optar el grado académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

Bach. Jaime REDOLFO YUPANQUI

ASESOR:

Dr. Edgar Gregorio ARONÉS MEDINA

AYACUCHO - PERÚ

2025

DEDICATORIA

El presente está dedicado a mi madre Nely que me acompaña desde el cielo, a mi padre Amador y a todos mis hermanos Wilfredo, René, Rita, Aldair los quiero mucho.

AGRADECIMIENTOS

A Dios creador y conservador del universo, a mi asesor Edgar Gregorio ARONÉS MEDINA que presento mucho interés y desarrollo en el presente trabajo de tesis.

Al Dr. Walter Solano Reynoso, Dr. Wilmer Moncada Sosa, Dr. José Luis Huayanay Villar que predispuso los controladores ambientales para el presente trabajo de investigación.

A mis colegas de la especialidad de física, matemática y estadística de la UNSCH, por su gran apoyo en la ejecución y desarrollo de la presente tesis.

También, a todas las personas que mediante sus sugerencias y consejos me han ayudado en la culminación del trabajo de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
ÍNDICE	IV
ÍNDICE DE TABLAS	VII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VIII
ACRÓNIMOS	X
RESUMEN.....	XI
ABSTRACT	XII
INTRODUCCIÓN.....	13
CAPÍTULO I	15
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	15
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	18
1.3. OBJETIVOS	18
1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	19
1.5.1. Espacial	19
1.5.2. Temporal.....	20
1.6. HIPÓTESIS.....	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO	22
2.1. ANTECEDENTES	22
2.1.1. Internacional.....	22
2.1.2. Nacional.....	23
2.1.3. Local.....	24
2.2. BASES TEÓRICAS	24
2.2.1. Modelo de contaminación	24
2.2.2. Parámetros ambientales	25
2.3. MARCO CONCEPTUAL.....	26
2.3.1. Modelos de contaminación ambiental por congestión vehicular	26
2.3.2. Modelo matemático de contaminación	27
2.3.4. Niveles o escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular.....	28

2.3.5. Equipos de monitoreo ambiental	28
2.3.6. Controladores ambientales	30
2.4. MARCO LEGAL	31
CAPÍTULO III	33
DISEÑO METODOLÓGICO	33
3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	33
3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO	33
3.3.1. Población	33
3.3.2. Muestra	33
3.3.3. Muestreo	33
3.4. VARIABLES E INDICADORES	34
3.4.1. Variables dependientes.....	34
3.4.2. Variables independientes.....	34
3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	34
3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	37
3.6.1 Técnica.....	37
3.6.2 Instrumentos.....	37
3.7. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS	37
3.7.1 Análisis y procesamiento de los datos de parámetros ambientales.....	37
3.7.2. Sensor de gas.....	37
3.7.2.1. Implementación del sensor de gas MQ-135.....	37
3.7.3. Control de escalas de contaminación	42
3.7.3.1. Teorías de control	42
3.7.3.2. Control PI	49
3.7.4. Zonas del área de estudio	53
3.7.5. Identificación del objetivo para obtención de datos	54
3.7.5.1. Área de estudio 1	54
3.7.5.2. Área de estudio 2.....	56
3.7.5.3. Área de estudio 3.....	58
3.7.6. Operador de calibración de datos obtenidos de los parámetros ambientales..	59
3.7.7. Validación del modelamiento de escalas de contaminación	60
CAPÍTULO IV	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62

4.1. MODELAMIENTO DE ESCALAS O NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE	62
4.2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR TRÁFICO VEHICULAR	62
4.3. PATRÓN DE COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE	63
4.4. REGULAR ESCALAS DE CONTAMINACION	73
4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	73
CONCLUSIONES	76
RECOMENDACIONES	77
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de CO ₂ establecidos por la VAISALA	32
Tabla 2 Operacionalización de variables	35
Tabla 3 Estructura y configuración del sensor MQ-135.....	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Degradación de la calidad del aire en la provincia de Huamanga, Ayacucho – Perú	17
Figura 2 Ubicación geográfica del objetivo de estudio..... ¡Error! Marcador no definido.	
Figura 3 Funcionamiento y adquisición de datos de equipos de monitoreo ambiental.	29
Figura 4 Equipos de monitoreo ambiental V.A.....	30
Figura 5 Arquitectura del sensor MQ-135	39
Figura 6 Hoja de datos de MQ-135: cambio en la resistencia frente al cambio en ppm	40
Figura 7 Representación esquemática de control de monitoreo de contaminación ambiental	42
Figura 8 Diagrama de bloques del sistema.....	45
Figura 9 Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $u=0,5$	46
Figura 10 Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $u=1$	47
Figura 11 Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $u=$ interpolación.....	48
Figura 12 Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $u=$ senoidal.....	49
Figura 13 Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $y_{ref}=0,5$	51
Figura 14 Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $y_{ref}=$ rampa	52
Figura 15 Dialogo de remuestreo del área de estudio	53
Figura 16 Equipos de monitoreo de contaminantes.....	54
Figura 17 Elección de zonas de estudio	55
Figura 18 Recolección de datos mediante los controladores de monitoreo	56
Figura 19 Elección de zonas de estudio ex Guamán Poma de Ayala	57
Figura 20 Análisis constante del comportamiento de los datos	58
Figura 21 Análisis constante del comportamiento de los datos mercado central y memorial del arco.....	59
Figura 22 Control de escalas de contaminante con 3 actuadores	60
Figura 23 Pruebas experimentales de control de escalas de contaminación 1	60
Figura 24 Pruebas experimentales de control de escalas de contaminación 2	61
Figura 25 Simulaciones en tiempo real.....	61
Figura 26 Simulaciones en tiempo real.....	66
Figura 27 Simulaciones en tiempo real.....	68
Figura 28 Procesamiento de los datos adquiridos durante la medición por controladores	70

Figura 29 Procesamiento de los datos adquiridos durante la medición por controladores	71
Figura 30 Calidad de aire en zonas sin congestión vehicular	73

ACRÓNIMOS

REACH: Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas

CO: Monóxido de carbono

CO₂: Dióxido de carbono

DIGESA: Dirección General de Salud Ambiental

INRENA: Instituto Nacional de Recursos Naturales

IMARPE: Instituto del Mar del Perú

NO: Óxido nitroso

SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo el modelamiento de escalas o niveles de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023. Se utilizó una ecuación diferencial para modelar la contaminación, la cual describe la dinámica de las partículas contaminantes, considerando su tamaño y distribución. La solución aproximada de la ecuación permitió evaluar el comportamiento de la contaminación en función de la concentración del gas contaminante del aire por dióxido de carbono, debido al tráfico vehicular. Seguidamente se realizaron el monitoreo de parámetros con los controladores ambientales mediante sistemas de escalas de control proporcionales e integrales, comúnmente llamados PI o simplemente PID que son los tipos de control de retroalimentación basados en modelo matemático, sensor y actuador (alarmas de aviso) para proponer regulamiento de contaminación del aire. Los resultados obtenidos de concentración de dióxido de carbono están entre los 349 a 910 ppm, correspondiente al área 1 Jr. Quinoa con Jr. Asamblea (Residencia Universitaria) y al área 3 Mercado central, Memorial del Arco (Jr. Carlos F. Vivanco) están entre los 350 a 600 ppm, el nivel de CO₂ (Vaisala, 2020) determina una concentración atmosférica típica y tolerable. Seguidamente, en el área 2 Ex-Guamán Poma de Ayala con Av.Independencia la concentración bordea entre 350 a 690 ppm, el nivel de CO₂ (Vaisala, 2020) determina una concentración atmosférica típica y tolerable.

Los algoritmos y simulaciones muestran resultados teórico y semi-experimentalmente eficientes similares a otros trabajos desarrollados.

Palabras-clave: Modelamiento, Escalas de contaminación, Dióxido de carbono, Sensor de calidad del aire, Sistemas de Control.

ABSTRACT

The objective of the research was to model the scales or levels of air pollution caused by vehicular traffic in the district of Ayacucho in 2023. A differential equation was used to model the pollution, which describes the dynamics of the polluting particles, considering their size and distribution. The approximate solution of the equation made it possible to evaluate the behavior of pollution based on the concentration of carbon dioxide in the air due to vehicular traffic. Next, parameters were monitored with environmental controllers using proportional and integral control systems, commonly called PI or simply PID, which are types of feedback control based on mathematical models, sensors, and actuators (warning alarms) to propose air pollution regulation. The results obtained for carbon dioxide concentration are between 349 and 910 ppm, corresponding to area 1 Jr. Quinoa with Jr. Asamblea (University Residence) and area 3 Mercado central, Memorial del Arco (Jr. Carlos F. Vivanco) are between 350 and 600 ppm, the CO₂ level (Vaisala, 2020) determines a typical and tolerable atmospheric concentration. Next, in area 2 Ex-Guamán Poma de Ayala with Av. Independencia, the concentration ranges from 350 to 690 ppm, with the CO₂ level (Vaisala, 2020) determining a typical and tolerable atmospheric concentration. The algorithms and simulations show theoretically and semi-experimentally efficient results similar to other studies.

Keywords: Modeling, Pollution scales, Carbon dioxide, Air quality sensor, Control systems.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación del aire por el tráfico vehicular, representa un problema serio en nuestra sociedad principalmente en las zonas urbanas que aqueja a nuestra población. Por ello en el presente trabajo de investigación se pretendió establecer un modelamiento de escalas o niveles de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023.

Los parámetros de temperatura, humedad relativa, CO₂, en un término característico en el campo de estudios ambientales es importante principalmente en el análisis del efecto invernadero, factores contaminantes y destrucción de nicho ecológico. Según Vargas (2005) señala: “El crecimiento económico, tecnológico y la globalización han originado importantes beneficios, pero al mismo tiempo han provocado el surgimiento de nuevos riesgos. Observándose grandes dificultades e incertidumbres para identificar con exactitud la relación causal entre medio ambiente y la salud de las personas”. Existen contaminantes como las radiaciones ionizantes, gases contaminantes del aire y preparados químicos carcinógenos que representa un riesgo latente en la población. A pesar de ello existen algunos trabajos que han identificado la relación entre determinados agentes ambientales y la salud humana. En relación con ello recientes investigaciones como la de Patz (2000); Bernard et al (2001) y Moreno, (2005) han concluido que países con alta contaminación son más sensibles al cambio climático y son perjudicados por los impactos de este cambio generado principalmente por él hombre. Los impactos sobre la salud humana se refieren a un aumento de la tasa de mortalidad por enfermedades, esto por olas de calor que lograrán ser más habituales en intensidad y duración en los próximos años. Algunos programas europeos como el Registro, evaluación, autorización y restricción de sustancias químicas (REACH) permitirá disminuir la propagación de algunas enfermedades por la exposición a gases químicos tóxicos peligrosos emitidos por el sector transporte, particularmente si dichos productos presentan ciertas propiedades que provocan enfermedades cancerígenas, mutagénicas, tóxicas para la reproducción, etc., así como los riesgos y emergencias ambientales que pueda aquejar al medio ambiente

En temas de transporte en el distrito de Ayacucho, que no es ajeno a múltiples problemas de tráfico, presenta diversos factores que afectan al tráfico del sistema vial como son: el transporte público y privado, los estacionamientos, los controles de tránsito, el tránsito no motorizado, la falta de educación vial entre otros (Arzapalo, 2021). Por lo que la política de transportes es determinante en relación con la emisión de distintos gases contaminantes ya que los vehículos de transporte consumen entre el 40-

45 % de la energía primaria y constituyen el sector que mayor nivel de gases emite a la atmosfera. En relación a las emisiones de gases contaminantes de efectos locales CO, NO_x, C_xH_x, Pb; algunas instituciones han adoptado ya políticas para corregir este problema, implementando catalizadores de tres vías, controladores de eliminación de gases tóxicos con resultados positivos a mediano plazo. Otras alternativas de solución adoptados en relación a las emisiones de CO₂, fueron a través de una reducción del consumo, bien sea desplazando parte de la demanda hacia el transporte público, mejorando el control del tráfico, o en última instancia imponiendo limitaciones al uso del vehículo privado, asimismo las alternativas de uso de vehículos eléctricos o fotovoltaicos, etc.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a los últimos reportes por la OMS en el planeta mueren de 5 a 6 millones de personas debido a la contaminación del aire producido por el tráfico vehicular que emiten gases contaminantes peligrosos (OMS, 2018).

Por lo que hoy en día, diversos países como EE. UU., Alemania, Austria, Bélgica y otros han empleado políticas ambientales referente a la contaminación del aire por quema de combustibles fósiles y gasolina producido por el tráfico vehicular y dando solución a ello; utilizando controladores y filtros que purifiquen el medio contaminante principalmente en las zonas urbanas.

Esta preocupación, por el alto deterioro del medio ambiente, principalmente en las zonas urbanas de la ciudad, se ve plasmada en documentos de la comunidad internacional a partir de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, celebrada en Estocolmo (Suecia, 1972) donde se destacó, la preocupación por los problemas ambientales y salud, y como este cobre un interés mundial, resultado pérdida de la diversidad biológica y de ecosistemas de la ciudad.

No ajeno a ello, en nuestro país vemos un incremento desmedido de vehículos y ello conlleva a que se genere contaminación del aire, por lo que los ciudadanos que viven en las zonas urbanas y las personas que transitamos por dichas calles nos vemos en la exposición de respirar mala calidad de aire y ello conlleva a la larga a sufrir enfermedades cardiacas como, cáncer de pulmón, infarto de miocardio, etc. conduciendo así a mediano o largo plazo a la muerte.

El distrito de Ayacucho ubicado en la provincia de Huamanga, región de Ayacucho, ubicado al sur del Perú, posee una población aproximada de 616,000 que ha ido cambiando en el transcurrir de los años (INEI, 2018), la población, economía, demografía, así como en el uso de los recursos naturales los que depende de las pautas

culturales de cada poblador. Esta ciudad cultural, nos muestra una serie de usos de la tierra, adaptados durante años a las condiciones físicas y climáticas de la cordillera de los andes, evidencia de ello son las tecnologías de manejo de artesanías folclóricas, agricultura y ganadería, únicas por su complejidad y diversidad en el área andina. La complejidad de estas tecnologías, adaptadas a un territorio seco que va de los 2761 m.s.n.m hasta los 3500 m.s.n.m, con estación promedio de 17°C, viento del E a 10 km/h, humedad del 55%, considerada el mejor clima del mundo, pero con ciertas deficiencias por el incremento de contaminación ambiental por tráfico vehicular originados por el hombre.

Las actividades de transporte público y privado generan contaminación como la congestión vehicular, las industrias, el incremento de consumo de combustibles por la población y la expansión de las zonas urbanas; han originado un deterioro de la calidad de aire (Emov, 2013). Existen redes de monitoreo de la calidad del aire en el Perú y en el mundo. Por ejemplo, la Corporación para el Mejoramiento del Aire de Cuenca (Cuencaire, Ecuador), Fundación Mac Arthur (Estados Unidos) y andes Amazon Fund, etc. En el Perú instituciones de monitoreo, vigilancia y control ambiental como DIGESA, INRENA, IMARPE y VILLA AUTOMATION E.I.R.L. muestran evaluaciones periódicas, integradas y permanente de la dinámica de las distintas variables ambientales, así como el nivel de contaminación ambiental, medios socioeconómicos y cultural, con el objetivo de ofrecer información verídica y actualizada para luego tomar decisiones orientados a la conservación del medio ambiente, recursos naturales y cuidado de la salud de las personas (CONAM, 2005). En la capital existen diez a más estaciones fijas de monitoreo de calidad del aire en Lima Metropolitana y el Callao que evalúan permanentemente la contaminación atmosférica (Luna, et al, 2017). El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) es el ente que informa mensualmente los resultados de dichas estaciones automáticas.

El gran problema que prevalece en estas instituciones peruanas y en la región de Ayacucho, no cuentan con suficiente financiamiento para cubrir investigaciones de monitoreo y control del medio ambiente de alta complejidad. Por ello los controladores de monitoreo ambiental son una alternativa para determinar los patrones de comportamiento de la calidad de aire, dando prioridad a su conservación sobre otros usos, y ordenando que las autoridades públicas, en el ejercicio de sus funciones, tomen medidas especiales para proteger entre sí los ecosistemas frágiles, como también la salud de la población. En tal sentido, esta investigación se realiza en la zona urbana del distrito de Ayacucho.

En el presente trabajo de tesis se plantea modelar las escalas o niveles de

contaminación por tráfico vehicular mediante los parámetros ambientales como temperatura, humedad relativa y CO₂ obtenidas de controladores de monitoreo, la cual es importante, para estudiar los patrones de comportamiento de la calidad de aire y proponer alternativas de solución o mitigación.

Por ello, la necesidad de descubrir nuevas metodologías que impulsen el uso de las tecnologías de controladores de monitoreo, que permita una revisión de los modelos existentes y sus mejoras, indicando modelos que funcionan mejor con el uso de identificación de sensores inteligentes, demostrando así muchas ventajas de uso, independientemente de fenómenos meteorológicos.

Con la presente investigación se permitirá impulsar nuevas gestiones de la calidad de aire y se recomendará impulsar propuestas de políticas ambientales por parte del gobierno central, gobiernos regionales, y municipales de tal manera que permita una garantía de mantener un medio ambiente adecuado y limpio para la población ayacuchana.

En la figura 1 se visualiza el nivel de tráfico vehicular en intersecciones más concurridas de calles congestionadas en hora punta en el distrito de Ayacucho.

Figura 1

Degradación de la calidad del aire en la provincia de Huamanga, Ayacucho – Perú



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cómo desarrollar el modelamiento de escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es el nivel de contaminación del aire por el tráfico vehicular y su influencia en la destrucción del nicho ecológico en el distrito de Ayacucho?
- ¿Cuál es el patrón de comportamiento del nivel de calidad de aire en los controladores de monitoreo con parámetros de temperatura, humedad relativa, CO₂ en el hábitat en el distrito de Ayacucho?
- ¿Cómo establecer escalas o niveles de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General

Desarrollar el modelamiento de escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el nivel de contaminación del aire por el tráfico vehicular y su influencia en la destrucción del nicho ecológico en el distrito de Ayacucho.
- Determinar el patrón de comportamiento de la calidad de aire obtenidas mediante los controladores de monitoreo con parámetros de temperatura, humedad relativa y CO₂ en el hábitat en el distrito de Ayacucho.
- Establecer las escalas o niveles de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho.

1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El incremento alarmante de vehículos en el distrito de Ayacucho ha generado una significativa contaminación del aire, lo que está estrechamente relacionado con la aparición de enfermedades cardíacas, especialmente en adultos mayores, niños y mujeres embarazadas. Esta problemática representa un desafío crítico, particularmente

en las zonas urbanas, afectando tanto a la sociedad en su conjunto como a la calidad de vida de sus habitantes.

El distrito de Ayacucho, que no es ajeno a los problemas de tráfico o congestión vehicular, origina contaminación ambiental afectando la ecología de la zona y la salud de las personas. Existe una preocupación, por el alto deterioro del medio ambiente, principalmente en las zonas urbanas de la ciudad, que es probable que con los años aumente (Gómez, 2001).

Por tanto, es necesario estudiar los indicadores y factores de la contaminación del aire por tráfico vehicular, que es una importante amenaza ambiental para la salud. Estudios recientes realizados en la ciudad urbana de Arequipa región del Perú cuyo objetivo fue identificar si ciertos semáforos inteligentes podrían hacer alguna diferencia correspondiente a la velocidad en promedio de los vehículos para resolver el parque automotor en dicha ciudad; logrando obtener un reducido resultado positivo (Ali, et al., 2018) (Samaniego, et al., 2019). Por ello la presente tesis se plantea modelar las escalas o niveles de contaminación del aire por congestión vehicular mediante los parámetros ambientales como temperatura, humedad relativa, CO₂ obtenidas de controladores ambientales de monitoreo. La cual es importante, tener a disposición los patrones de comportamiento de la calidad de aire y proponer alternativas de solución por parte de los gobierno central, regional y local.

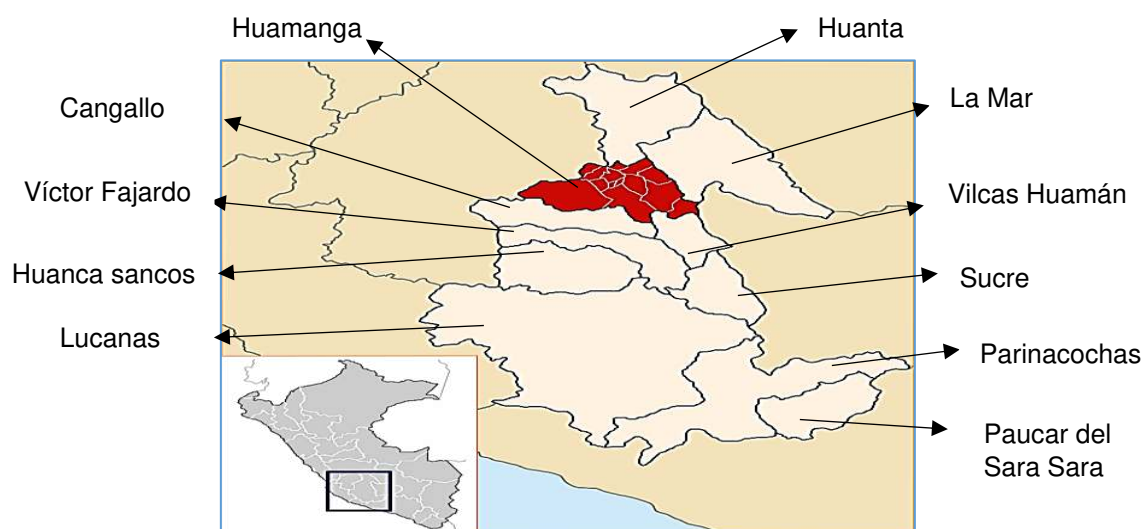
1.5. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

1.5.1. Espacial

Como se puede observar en la figura 2, se muestra la ubicación geográfica del área de estudio en donde se realizó los estudios en los espacios contaminantes del distrito de Ayacucho correspondiente a la provincia de Huamanga en la región de Ayacucho cruce de los jirones Quinoa con Jr. Asamblea, Ex-Guamán Poma de Ayala con Av. Independencia y Mercado central con el Memorial del Arco San Francisco respectivamente.

Figura 2

Ubicación geográfica del objetivo de estudio



Nota. Mapa de la región de Ayacucho donde se especifica la zona de estudio.

Fuente: Garayar, (2003)

El distrito de Ayacucho considerada la ciudad de las 33 iglesias es uno de los distritos principales de la provincia de Huamanga que está ubicada en la región de Ayacucho, Perú. Limita por el Norte con el distrito de Pacaycasa y Quinoa; por el Este con el distrito de Jesús Nazareno y San Juan Bautista (Huamanga); por el Sur con el distrito de Carmen Alto; y por el Oeste con el distrito de Socos y San José de Ticllas (INEI,2008).

Superficie

- ✓ Total 85,29 km²

Altitud

- ✓ Media 2760 m s. n. m.

Población (INEI, 2017)

- ✓ Total 99 427 hab.
- ✓ Densidad 1183,4 hab/km²

1.5.2. Temporal

Para el desarrollo del trabajo de tesis se realizó las siguientes actividades: adquisición de los controladores, traslado, funcionamiento, obtención de los parámetros,

análisis, discusión de resultados, elaboración del informe final, cuya duración fue de 7 meses las cuales son mayo, junio, julio agosto, setiembre, octubre y noviembre del 2023.

1.6. HIPÓTESIS

1.3.1. Hipótesis General

El modelamiento de escalas o niveles de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023 permite determinar contaminantes del aire.

1.3.2. Hipótesis Específicos

- La contaminación del aire por el tráfico vehicular y su influencia en la destrucción del nicho ecológico en el distrito de Ayacucho se determina de manera correcta
- El patrón de comportamiento de la calidad de aire obtenidas mediante los controladores de monitoreo determina de manera correcta los parámetros de temperatura, humedad relativa y CO₂ en el hábitat del distrito de Ayacucho.
- Regular las escalas o niveles de contaminación del aire por el tráfico vehicular que impacta en el medio ambiente del distrito de Ayacucho funcionan de manera correcta.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacional

Marin (2020), en su trabajo de investigación, planteó un modelo matemático para determinar la emisión de gases contaminantes. Este modelo permite cuantificar la contaminación y otros componentes importantes que son determinantes en su comportamiento, como, por ejemplo, el incremento del parque automovilístico, la temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, etc. Mediante la búsqueda de un modelo matemático para el pronóstico de dichos gases contaminantes, el cual es hallado por medio del uso de sistemas de ecuaciones lineales (Modelos VAR), se reconocen así sus principales fuentes como también agentes contaminantes y lo fundamental de contar con sistemas de vigilancia de la calidad del aire para dar a conocer este problema y permitir una concientización ciudadana con respecto a la contaminación atmosférica producida en los centros de la ciudad y que influye negativamente en la salud. Concluye que, por medio de sus resultados, en los próximos años se tendrá un ascenso alarmante de vehículos y, trayendo como consecuencia, un incremento de gases contaminantes peligrosos que sobrepasen las normas políticas ambientales. Asimismo, demostraron que en horas pico se presenta aglomeración de vehículos en zonas céntricas como la Ceja de El Alto, Alcaldía Quemada, en la que la emisión de gases es mayor.

Tarapués (2019), en su trabajo de investigación tuvo como objetivo estimar las emisiones de gases contaminantes en la ciudad de Ibarra tomando como referencia 2 rutas de mayor concentración vehicular. Encontraron resultados de emisiones contaminantes por parte de los vehículos en el centro de la ciudad de Ibarra, compuestos por dióxido de carbono, material particulado, óxido nitroso, compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, en la que sobrepasan los límites permisibles máximos dadas por las normativas nacionales e internacionales y en la que hace énfasis respecto

a la salud humana y el daño al ecosistema. De todos los modelos usados en los diferentes trabajos de investigación propone que el modelo Internacional de Emisiones Vehiculares (IVE) es adecuado para para el estudio de contaminantes de la atmosfera.

Peréz (2010), en la ciudad de Puebla propuso un modelo de caja individual que consiste en la conservación de la masa en el interior de dicha caja, que simboliza el volumen del aire en las 4 estaciones de monitoreo. El patrón de concentración de contaminante se hizo en los meses de enero y julio del 2007, detectando niveles no deseables de partículas suspendidas y ozono. El autor concluye que el modelo de caja, aunque tiene pocas falencias muestra que la calidad del aire en la ciudad urbana de Puebla se encuentra dentro de los límites permisibles máximos. Sin embargo, en algunas situaciones detectaron, CO₂, NO₂, PM10, ozono en las zonas de estudio, lo que pone en peligro la estabilidad de la atmósfera, saturándola de contaminantes día a día. Estos eventos si se mantienen a largo plazo podrán causar daños permanentes al ecosistema, a la salud humana y a los inmuebles.

2.1.2. Nacional

Aguirre (2021) en su investigación desarrollado en los meses de octubre a diciembre del 2019, determino el aglutinamiento de monóxido de carbono en tres lugares de mayor concentración vehicular en el distrito de Ilo para luego ser contrastadas con las normas peruanas establecidas por el Ministerio del Ambiente y el Ministerio de transportes y comunicaciones. En primera instancia realizó la identificación de lugares céntricas de mayor concentración vehicular, luego se procedió a monitorear el gas contaminante monóxido de carbono en los meses de octubre, noviembre y diciembre en 3 días al azar por cada mes durante un tiempo de 8 horas por día. Concluye que, la calidad del aire por CO no sobrepasa los límites permisibles máximos en los lugares urbanos de la ciudad de Ilo.

Chavez (2016), su investigación consistió en verificar la contaminación del aire por CO en el cruce de las avenidas Gustavo Pinto y Francisco Bolognesi y que de alguna manera este afectando la salud de las personas. Utilizaron un modelo matemático que les permitió obtener aglutinamiento de CO y comparo con datos obtenidos por un equipo medidor de contaminante. Concluye que la presencia de CO y los parámetros meteorológicos que influyen en ella, asimismo señala que los datos obtenidos no superan límites permisibles de acuerdo a las normas internacionales y peruanas, finalmente considera que el modelo matemático es adecuado para la determinación de gases contaminantes.

Cobo et al. (2014), analizaron la aglutinación y emisión de dióxido de azufre en la superficie terrestre de la ciudad de Huaraz. Con el modelo utilizado obtuvieron parámetros meteorológicos como velocidad del viento, brillo solar, dirección del viento, temperatura, estabilidad atmosférica que es necesario e importante en fenómenos referentes a emisión de gases contaminantes. Determinaron la dispersión y concentración dióxido de azufre principalmente emitido por fuentes móviles en lugares de mayor concentración de vehículos haciendo uso la aplicación del modelo de dispersión Gaussiano a nivel del suelo lo que permitió obtenerse un patrón de comportamiento de los contaminantes considerando los parámetros meteorológicos medidos en tiempo real. Concluyen que, la investigación permitió ver la situación actualizada de la ciudad de Huaraz acerca de emisión como también de la dispersión de dióxido de azufre por la concentración de automóviles y se representan en mapas generado por el modelo Gaussiano.

2.1.3. Local

No existen trabajos de investigación referentes al modelamiento de escalas o niveles de contaminación del aire en la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, por lo que no se localizó ningún trabajo de investigación referente a ello.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Modelo de contaminación

Supóngase que las partículas en un fluido con elementos que dependen del tiempo y el espacio donde las partículas están en movimiento (URATA, 2005), por lo tanto, consideramos la siguiente ecuación de contaminación por gases:

$$ds = -\frac{s}{s_E} a_0 Q (n_u - n_d) dt \quad (2.1)$$

Esta ecuación (2.1) muestra que el área de apertura efectiva s disminuye con el tiempo. El cambio depende de la función de distribución del tamaño de las partículas antes y después del elemento filtrante. Su velocidad de cambio es proporcional a sí misma.

La ecuación (2.1) es equivalente a:

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{sa_0Q}{s_E} (n_u - n_d) \quad (2.2)$$

Que sería la actual partícula contaminante donde se tiene el tamaño de distribución, en el caso de la distribución continua se tiene;

$$\frac{ds}{dt} = -\frac{s}{s_E} \int_0^\infty Q a(x) \left(-\frac{\partial}{\partial} n_{u,x} + \frac{\partial}{\partial} n_{d,x} \right) dx$$

(2.3)

Donde $a_0 Q(n_u - n_d)dt$ es el número de partículas añadidas.

Luego integrando la ecuación (2.3), la solución aproximada de la función contaminante es:

$$s \cong s_0 - \frac{t}{s_E} \left[\int_0^\infty Q a(x) \left(-\frac{\partial}{\partial} n_{u,x} + \frac{\partial}{\partial} n_{d,x} \right) dx \right] \quad (2.4)$$

Donde s es área de apertura efectiva, s_E área de apertura relativa, a_0 área de proyección de una partícula representativa, n_d es el número de partículas representativas en la unidad de volumen de fluido que salen, n_u es el número de partículas representativas en la unidad de volumen de fluido que ingresa, Q es el caudal de los elementos (URATA, 2005).

2.2.2. Parámetros ambientales

En esta subsección se analizan los parámetros que son estudiados para la presente tesis de acorde a los datos del equipo de monitoreo ambiental y las más importantes son:

2.2.2.1. El parámetro de temperatura y humedad ambiental

Existen múltiples sensores de temperatura y humedad que permiten medir información del estado del ambiente y así conocer el patrón de comportamiento en lugares de mayor concentración vehicular, uno de ellos es el sensor DHT11, DHT22 que es un sensor de tipo analógico de humedad y temperatura que usa un sensor capacitivo de humedad y un termistor para medir el aire circundante. Luego mediante un arquetipo de controlador obtener datos muestrales con una señal analógica en el pin de datos (Rodríguez, 2018). Este tipo de sensores sensibles son de alta fiabilidad en tiempo real que tienen un rango de medida de temperatura entre los -40 °C hasta 80 °C con una precisión de ± 0.5 °C y un rango de medida de humedad de 0% hasta un 100% con una precisión de ± 2 % y una resolución de 0,1 %.

En investigaciones se determinaron la concentración del monóxido de carbono en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en lugares de mayor concentración vehicular en el distrito urbano de Ilo, 2019 desarrollada por (AGUIRRE, 2021). “La temperatura ambiental promedio durante el periodo de estudio fue de 20,9 °C, con una máxima de 23,1 °C registrada el 13/11/2019, y una mínima de 18,9 °C registrada el 15/11/2019”. Estos resultados demuestran que el esparcimiento de los contaminantes del aire fue mínimo, con velocidades de viento máxima de 7 m/s y una velocidad mínima de 2,92 m/s, lo cual consideran como brisa débil de acuerdo a la escala de medida dada por Beaufort (2024).

A partir de estas investigaciones, suponemos que un sistema de control de temperatura y humedad origina una mayor ventilación en zonas de menor dispersión de contaminantes que sería una alternativa para estudios en zonas de alta congestión vehicular.

2.2.2.2. Parámetro de CO₂

El estudio del parámetro CO₂ es el componente importante de la presente investigación, de tal manera que existen múltiples sensores de CO₂ como los sensores de gas MQ o BME 680 que pueden identificar las zonas donde los dióxidos de carbono son superiores a los aceptables, y mediante los controladores obtener datos para su estudio y partir de ello diseñar o ajustar los sistemas de ventilación y el flujo de aire a estas necesidades con el objetivo de obtener una comodidad y renovación de calidad de aire. La contaminación del ambiente y más explícitamente el aire representa un problema álgido y de mayor atención, ya que su impacto en los nichos ecológicos y ecosistemas, aulas de clases y en nuestras vidas, han afectado la capacidad y el rendimiento del ser humano (Atencio, 2023).

2.3. MARCO CONCEPTUAL

2.3.1. Modelos de contaminación ambiental por congestión vehicular

Existen múltiples modelos de análisis de contaminación o calidad del aire, según la agencia de protección del medio ambiente de los EE.UU., los modelos de calidad de aire se dividen de la siguiente forma:

2.3.1.1. Modelos de dispersión

En (EPA, 2006), lo define como un proceso para estimar la concentración de contaminantes en la posición de receptores específicos (controladores de monitoreo ambiental) a nivel del suelo por fuentes de emisiones locales.

2.3.1.2. Modelos fotoquímicos

Según (EPA, 2006) y (NARSTO, 2006) señalan que estos modelos son usados como herramientas para establecer políticas de regulación, analizando y simulando todas las fuentes de emisión de contaminantes, es decir estimando las concentraciones de contaminantes del ambiente y la deposición en humedad de una variedad de componentes químicas reactivas considerando grandes escalas espaciales.

2.3.1.3. Modelos Receptores

Estos modelos son observacionales; por que utilizan las características físicas y químicas de los gases conjuntamente con las partículas medidas de diferentes fuentes. Con un único receptor para identificar las concentraciones de gases recolectadas de las diferentes fuentes (EPA, 2006).

2.3.1.4 Modelos de esparcimiento de gas

Hay que destacar que los contaminantes distribuidos en el medio ambiente representan un conjunto de partículas que por su naturaleza siguen un patrón normativo y el medio de desplazamiento que realizan, por lo que el conjunto de información que se obtiene en base a estos entornos es muy importante, de tal manera que requiere de aplicaciones estadísticas como algebraicas que permiten hacer un análisis más exhaustiva referente al fenómeno medioambiental (Massolo, 2022).

Aspectos para tener en cuenta:

- La clase de gas bien sea pesado, ligero o neutro.
- Por las condiciones del ambiente, como la temperatura o reacciones químicas con el aire, un gas ligero puede tener un comportamiento como uno pesado.
- Para un escape instantáneo, continuo dependiente y no dependiente del tiempo influirá en la implementación del modelo.

2.3.1.5 Modelo de dispersión gaussiano

Para la descripción del modelo de dispersión gaussiano se debe considerar una fuente de emisión puntual que realice la liberación de un flujo de gas (Q) kg/s constante (Intensidad de la emisión), además el aire se mueve en dirección x a una velocidad $u(m/s)$ (Ballesteros, 2021).

2.3.2. Modelo matemático de contaminación

El modelo matemático de contaminación permite calcular concentraciones de contaminantes del aire (URATA, 2005) a partir de la solución de la ecuación diferencial (2.1) que representa la probabilidad de que una partícula contaminante llegue a un área de apertura efectiva para determinar su concentración.

2.3.3. Sensor de gas MQ

Son aquellos dispositivos fabricados para la obtención de datos de los distintos compuestos orgánicos volátiles que están presentes en el aire que presentan diferentes olores y aromas (Flórez, Duran and Carrillo, 2020). El sensor MQ-135, nos permite obtener niveles de concentración de CO_2 en estados normales o excesivos, que permite que las personas no estén expuestas a dicho emisión de gas contaminante. Los sensores MQ están hechos de un componente calefactor, llamado calentador, y también de un sensor de tipo electroquímico. Los niveles de concentración de CO_2 que son perjudiciales o no para las personas expuestas a dicho gas lo podemos ver más adecuadamente la tabla 1 (Vaisala, 2019).

2.3.4. Niveles o escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular

En esta sección se describe las escalas o niveles de contaminación que podrían ser abordados, estas son:

2.3.4.1. Niveles o escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular

Las escalas de contaminación en el trabajo de investigación pueden ser analizados mediante sus indicadores,

x_1 : Escalas de contaminación en las personas

x_2 : Escalas de contaminación del agua

x_3 : Escalas de contaminación de la flora y fauna

Donde estas son dependientes de la ecología del distrito de Ayacucho, donde sus indicadores son:

y_1 : Las personas

y_2 : El agua

y_3 : Flora y fauna

2.3.4.2. Niveles o escalas de contaminación por CO₂

El dióxido de carbono es un gas no tóxico y no inflamable. Sin embargo, la exposición a concentraciones elevadas puede representar un riesgo de vida. Cuando se utiliza el sensor, éste produce, envía o se almacena gas de CO₂ o hielo seco, la concentración de CO₂ puede elevarse a niveles muy peligrosos. Debido a que el CO₂ es inodoro e incoloro, resulta imposible detectar las fugas, con lo cual es necesario utilizar el uso de sensores adecuados para garantizar la seguridad de las personas.

2.3.5. Equipos de monitoreo ambiental

Los equipos de monitoreo ambiental pueden utilizar diferentes tecnologías, pero habitualmente suelen utilizar una tecnología de infrarrojos. Esto se debe a que los sensores infrarrojos son más estables que los químicos y, además, tienen un mayor ciclo de vida y soportan altos niveles de humedad, polvo, suciedad y otros agentes adversos. El sistema más usado por los fabricantes y el recomendado, es el denominado NDIR (Infrarrojo No Dispersivo) está basado en el principio de absorción de energía de los compuestos a una determinada longitud de onda, normalmente en el infrarrojo. El CO₂ absorbe una determinada longitud de onda de luz infrarroja. El aparato cuenta con un emisor de luz infrarroja que pasa a través del gas y el sensor mide la intensidad de luz que le llega después de este paso. La concentración de gas es inversamente proporcional a la intensidad detectada o directamente proporcional a la cantidad de energía absorbida (Ley de Lambert-Beer). Al encender el medidor, éste automáticamente nos mostrara el valor de la concentración de CO₂ y de aquellos otros parámetros que pueda medir. Generalmente el aparato dará directamente la lectura de

la concentración de CO₂ en ppm.

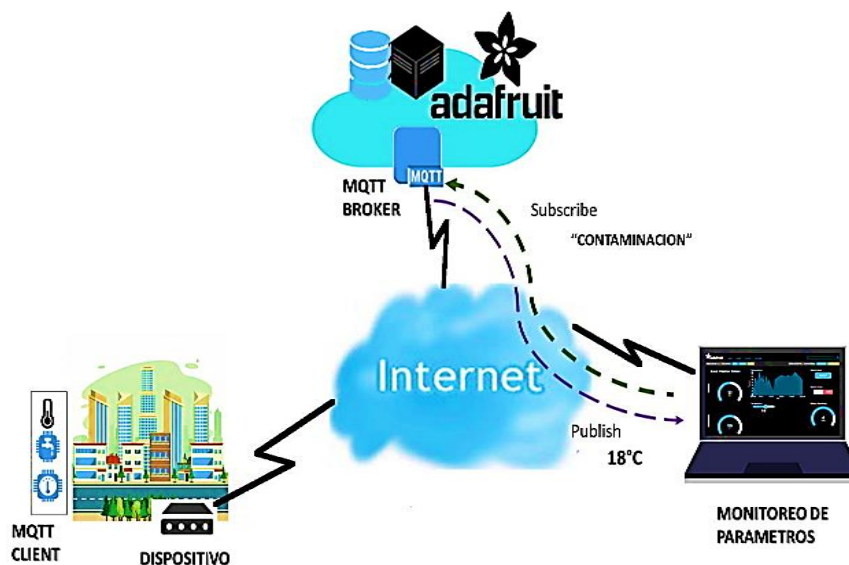
Según Budiarto y Febriana (2017), señalan que “la importancia del uso de dispositivos o aparatos de monitoreo de bajo costo que contribuyan con aplicaciones para evitar problemas medioambientales mediante la integración del internet de las cosas para el monitoreo de contaminantes atmosféricos y partículas en suspensión en zonas urbanas de mayor congestión”.

En esa dirección; es importante la elaboración de tecnologías nuevas de libre acceso con funcionalidades mayores mediante la experimentación en campo, realizando análisis múltiples de las condiciones básicas del ambiente como presión atmosférica, temperatura, humedad, etc. que tenga acceso el usuario experimentador en tiempo real.

Por lo que es importante la adquisición de dispositivos de monitoreo ambiental, en la realización de trabajos de investigación para poder medir el estado que se encuentran las zonas vulnerables por el tráfico vehicular de tal manera que se tomen medidas frente al problema medioambiental.

Figura 3

Funcionamiento y modo de adquisición de datos por equipos de monitoreo ambiental



Nota. Ejemplo de servicios de monitoreo Ambiental. Fuente: Medina, (2020)

2.3.5.1. Equipo de monitoreo ambiental Villa Automation (V.A.)

Los equipos de monitoreo Ambiental V.A tal como se observa en la figura 4 de

la empresa VILLA AUTOMATION E.I.R.L. son dispositivos de bajo costo y al alcance de cualquier investigador, debido a que posee funcionalidades básicas de monitoreo de parámetros ambientales, en la que es factible su uso en lugares abiertos y al aire libre.

Estos controladores de monitoreo poseen almacenamiento de datos y son portátiles y fácil de instalar, que son alimentados con energía eléctrica y fotovoltaica de 9 a 12 V, este controlador de monitoreo ambiental es usado en la presente tesis para el análisis de los patrones de comportamiento de la calidad de aire de concentración de CO₂, que es determinada a partir del modelo matemático de contaminación (2.1) y recopiladas por el sensor MQ-135.

Figura 4

Equipos de monitoreo Ambiental V.A.



Nota. La siguiente figura es una foto del equipo equipos de monitoreo Ambiental V.A. inteligente de bajo costo, con alimentación fotovoltaica de 12 V, es usado para el trabajo de tesis de investigación.

2.3.6. Controladores ambientales

En esta sección presentamos ejemplo de las diferentes estructuras de controladores y sus funcionalidades con relación a calidad de aire.

2.3.6.1. Controladores ambientales LOT LORA

Los sensores LOT LOTRAWAN de DECENTLAB permiten controlar la calidad de aire en espacios exteriores, así como zonas urbanas, EDARs, Industrias, y en el

interior de hogares, edificios o museos.

Estos controladores poseen sensores mejores que las de bajo costo debido a que las señales derivan del tiempo, y se pierden precisión en las mediciones. El factor de calibración de este tipo de controladores usa la ubicación de referencia para calibrar los sensores durante un periodo de varias semanas. Este sitio de referencia generalmente se ubica en zonas de alta contaminación ambiental similar a la ubicación definitiva para maximizar la precisión de la calibración. Asimismo, los controladores LOT pueden reducir interferencias mejorando el diseño eléctrico e implementando técnicas sofisticadas de post proceso. Otros desafíos de los sensores de bajo costo, es su reproductibilidad; cada sensor es individual y actúa de forma diferente (Narváes, 2020).

2.3.6.2. Controladores ambientales mediante sensores electroquímicos

Para la medida de calidad de aire se hace uso de sensores tipo outdoor y es desarrollado en Essex – Reino Unido (Luna, et al, 2017) y tienen las siguientes características:

- Son inalámbricos, alimentados por baterías y paneles solares. Tienen conexiones vía wifi con interfaz GSM, pueden ser geo localizable con GPS incorporado.
- Teniendo una computadora con acceso a internet los datos a medir son llevados a la nube y pueden ser monitoreados por dicho computador.

Los sensores electroquímicos outdoor tienen 4 electrodos que tienen la función de medir los niveles del gas en la unidad nmol/mol. Estos electrodos se denominan “Electrodo de Trabajo”, “Electrodo de Referencia”, “Electrodo Contador” y, el “Electrodo Auxiliar” respectivamente, que es usado para la corrección del cero debido a cambios de corriente.

2.4. MARCO LEGAL

La Resolución Ministerial del Ministerio de Salud (2022) establece lineamientos para la vigilancia, prevención y control de la salud de los trabajadores expuestos al SARS-CoV-2 (ANEXO IV). Dicha resolución destaca la importancia de monitorear los niveles de CO₂ en los ambientes laborales, ya que su acumulación se relaciona con un mayor riesgo de transmisión del COVID-19. Esta relación entre el CO₂ y la propagación del virus ha sido respaldada por otros estudios, como el de Vaisala (2019), que detalla en la Tabla 1 los efectos adversos asociados a la exposición prolongada a este gas.

Tabla 1*Niveles de concentración de CO₂*

Nivel de CO ₂ (ppm)	Resultado en Humanos
350-450	Concentración atmosférica típica
600-800	Calidad de aire interno aceptable
1000	Calidad de aire interno tolerable
5000	Límite promedio de exposición en un periodo de 8 horas
6000-30000	Preocupación, solo exposición breve
3-8%	Incremento de la frecuencia respiratoria, dolor de cabeza
>10%	Náuseas, vómitos, pérdida del conocimiento
>20 %	Pérdida del conocimiento repentina, muerte

Nota. Concentración de CO₂ con sus respectivas características y consecuencias al estar expuestas, en intervalos de tiempo. Fuente: adaptado de Vaisala, (2019)

CAPÍTULO III

DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

En la presente tesis el tipo de investigación es cuantitativa no experimental 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 modelamiento de escalas o niveles de contaminación 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). Mientas que el nivel de investigación es explicativo no experimental.

3.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Técnicas de monitoreo ambiental, análisis de parámetros ambientales y control o regulador del modelo de contaminación.

3.3. POBLACIÓN, MUESTRA Y MUESTREO

3.3.1. Población

Se tomó como referencia aire atmosférico con contaminante por Dióxido de Carbono (CO₂) emitidos por vehículos en el centro histórico del distrito de Ayacucho en horas pico de mayor congestión vehicular.

3.3.2. Muestra

Se tomó como muestra aire atmosférico con contaminante por CO₂ emitidos por vehículos en el distrito de Ayacucho en horas pico de mayor congestión vehicular principalmente en tres zonas estratégicas por conveniencia como: Jr. Quinoa con Jr. Asamblea (Residencia Universitaria), Ex-Guamán Poma de Ayala con Av. Independencia y mercado central con memorial del Arco (Jr. Carlos F Vivanco).

3.3.3. Muestreo

El método permite la captura de sustancias contaminantes en el aire mediante muestras que utiliza métodos químicos y físicos para obtener aire contaminado en una

zona. La muestra se obtuvo en puntos de mayor concentración de contaminantes del aire atmosférico emitidos por vehículos en el centro histórico del distrito de Ayacucho haciendo uso del sensor MQ-135 incorporado en el microcontrolador ambiental en la que puesto en funcionamiento va recopilando y almacenando datos de concentración de CO₂ en tiempo real.

3.4. VARIABLES E INDICADORES

3.4.1. Variables dependientes

Modelamiento de escalas o niveles de contaminación del aire por el tráfico vehicular.

3.4.2. Variables independientes

Parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa y CO₂.

3.5. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de las variables del presente estudio se visualiza en la tabla 2 mostrada.

Tabla 2*Operacionalización de variables*

Variables	Dimensiones	Definición operacional	Definición conceptual	Indicadores	Escala de medición
X Independiente: Parámetros ambientales de temperatura, humedad relativa y CO ₂ .	X1. Parámetro de temperatura	La legitimación de la cuantificación y verificación de la emisión de gases vehiculares, proporcionara una herramienta para las autoridades municipales para la elaboración de planes de mitigación de gases contaminantes.	La temperatura como magnitud física mide la energía cinética interna de un cuerpo, objeto o del medio ambiente en general.	Grados Celsius	°C
	X2. Parámetro de humedad relativa	La medición de los parámetros temperatura y humedad relativa se hace haciendo uso de sensores DHT11, DHT22 respectivamente.	La humedad relativa mide el contenido de vapor de agua en el aire.	Porcentaje de humedad relativa	%
	X3. Parámetro de CO ₂	Mientras que para el CO ₂ se mide haciendo uso del sensor de gas MQ-135.	El CO ₂ es un gas transparente y componente natural del aire, que actúa	Partes por millón	ppm

<p>Y</p> <p>Dependiente:</p> <p>Modelamiento de escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular.</p>	<p>Y1.</p> <p>Modelo de escalas de contaminación</p>	<p>La propuesta del modelo debe considerar esquemas de control para la reducción de contaminantes del aire</p>	<p>como gas de efecto invernadero en la atmósfera.</p> <p>El modelo de escalas de contaminación mediante una solución numérica en tiempo real determina la concentración del contaminante, CO₂</p>	<p>Concentración del contaminante ppm</p>
---	--	--	---	---

Nota. Operacionalización de las variables dependiente e independiente

3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.6.1 Técnica

La toma de datos se realizó una vez puesta en marcha el funcionamiento de los microcontroladores ambientales en la que se determinó parámetros ambientales provenientes del sensor de temperatura, humedad relativa y CO₂ recolectados de las zonas altas en contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho

3.6.2 Instrumentos

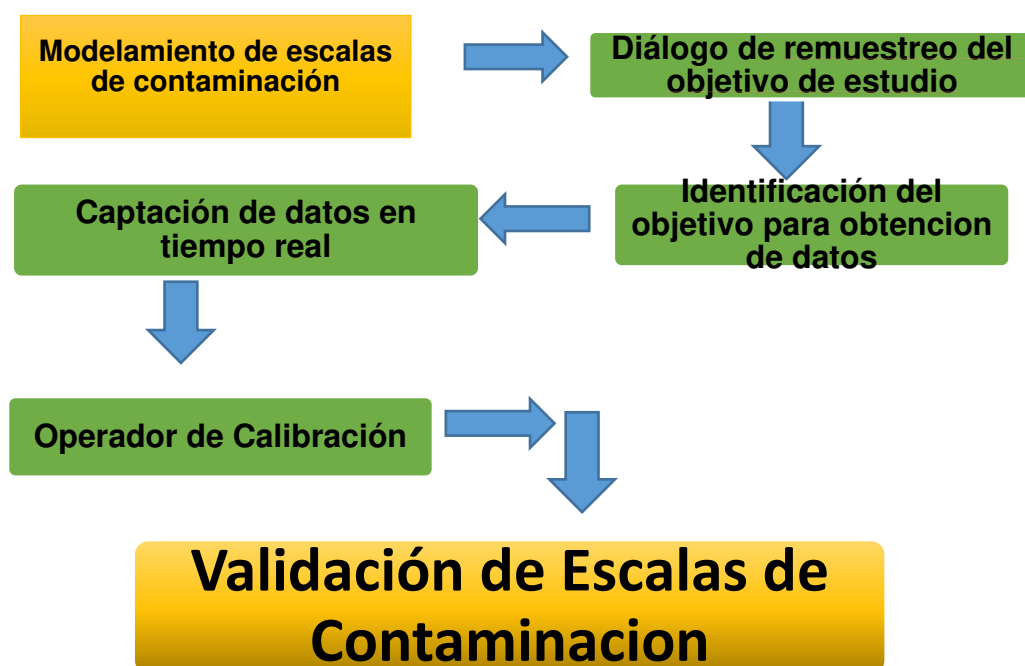
En el trabajo de investigación se ha utilizado los microcontroladores ambientales VILLA AUTOMATION EIRL que permitió determinar concentración de CO₂, humedad relativa y temperatura respectivamente.

3.7. TÉCNICA DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE DATOS

3.7.1 Análisis y procesamiento de los datos de parámetros ambientales

Figura 5

Etapas del modelamiento de escalas



Nota. Método y etapas para determinar el nivel o regulador de escalas del contaminante.

3.7.2. Sensor de gas

3.7.2.1. Implementación del sensor de gas MQ-135

El principio de funcionamiento de un sensor de gas es para medir la

concentración de gases contaminantes como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂), sulfuro de hidrógeno (H₂S), o gases combustibles como metano y propano en el ambiente. En este caso, el sensor de gas de calidad del aire MQ-135 son adecuados para la detección de NH₃, NO_x, alcohol, benceno, humo, CO₂, etc. Para una correcta calibración del sensor es necesario que la ecuación (2.4) convierta los valores de salida del sensor en voltaje o unidades ppm. Para ello analizamos la arquitectura del sensor MQ-135 para el parámetro de CO₂:

Basado en la ley de Ohm's, con temperatura constante, podemos derivar la intensidad de corriente "I" de la siguiente manera (Sai et al, 2019):

$$I = \frac{V}{R} \quad (3.1)$$

Que de acuerdo al circuito (Figura 6) del sensor es igual a

$$I = \frac{V_c}{R_s + R_l} \quad (3.2)$$

Luego el voltaje de salida en la resistencia de carga será (considérese V=RI)

$$V_{R_L} = \left(\frac{V_c}{R_s + R_l}\right)R_L \quad (3.3)$$

$$V_{R_L} = \frac{V_c R_L}{R_s + R_l} \quad (3.4)$$

$$V_{R_L} R_s + V_{R_L} R_l = V_c R_L \quad (3.5)$$

$$V_{R_L} R_s + V_{R_L} R_l = V_c R_L \quad (3.6)$$

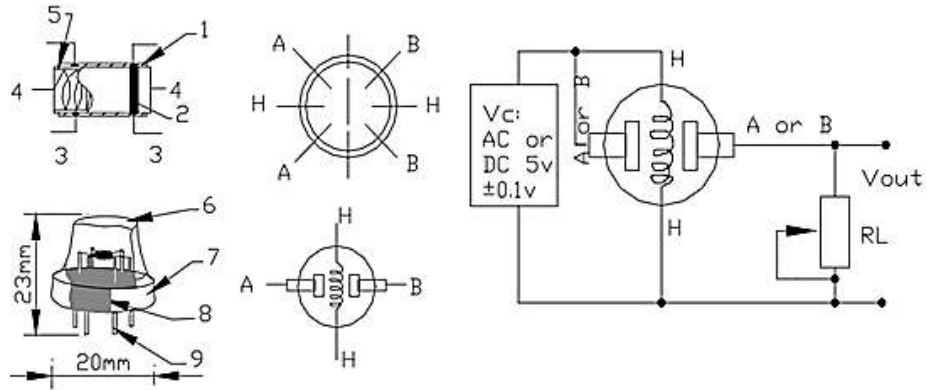
$$V_{R_L} R_s = V_c R_L - V_{R_L} R_l \quad (3.7)$$

$$R_s = R_l \left(\frac{V_c - V_{R_L}}{V_{R_L}}\right) \quad (3.8)$$

Esta fórmula nos ayudará a encontrar los valores de la resistencia del sensor para diferentes gases

Figura 6

Arquitectura del sensor MQ-135



Nota. Podemos ver de la figura que R_S que es la resistencia entre los pines A y B, y R_L están en serie. Fuente: Soledispa, (2020)

En la tabla 3 se muestra la estructura y configuración del sensor MQ-135 a usar en el presente trabajo de investigación.

Tabla 3

Estructura y configuración

	Partes	Materiales
1	Detección de gases Capa	SnO_2
2	Electrodo	Au
3	Línea de electrodos	Pt
4	serpentín del calentador	aleación Ni-Cr
5	Cerámica tubular	Al_2O_3
6	Red Anti-explósión	gasas de acero inoxidable (SUS316 100)
7	Anillo de sujeción	Recubrimiento de cobre Ni
8	Fondo de resina	Baquelita
9	Pasador de tubo	Recubrimiento de cobre Ni

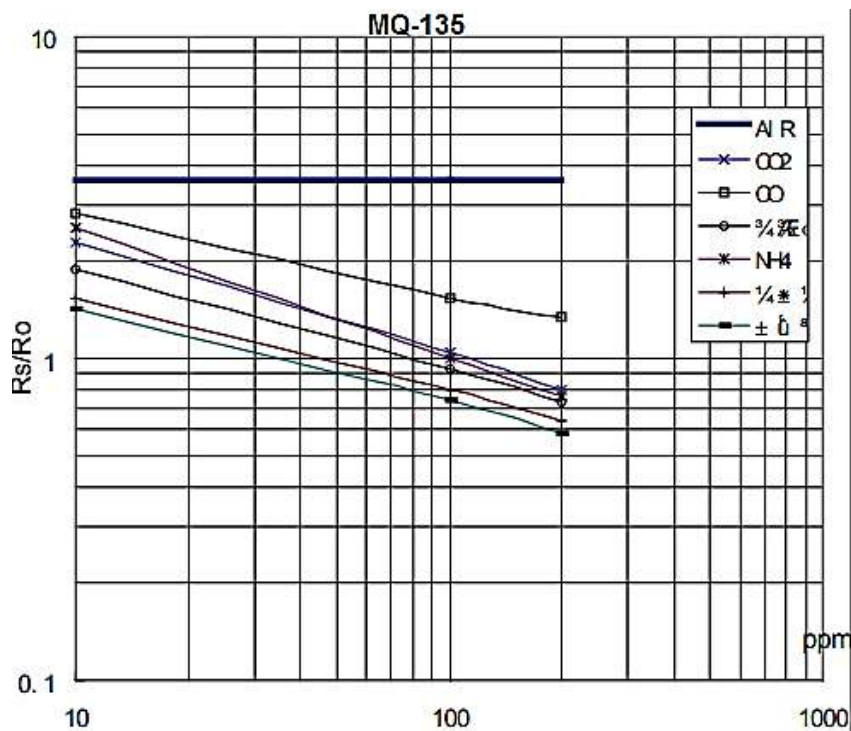
Nota. La tabla muestra la estructuración y configuración del sensor MQ-135 Fuente:

Adaptado de Int-1, (2020)

En la figura 7 podemos observar que, en una escala lineal, el comportamiento de la concentración de gas con respecto a la relación de resistencia tiene un comportamiento exponencial. Por lo que los datos de concentración de gas como CO₂, CO y otros solo van desde 200 ppm hasta 10000 ppm.

Figura 7

Hoja de datos de MQ-135: cambio en la resistencia frente al cambio en ppm



Nota. La figura muestra que, en una escala lineal, el comportamiento de la concentración de gas con respecto a la relación de resistencia es exponencial. Los datos de concentración de gas solo van desde 200 ppm hasta 10000 ppm. Fuente: Sai et al, (2019)

Aunque la relación entre la resistencia y la concentración de gas puede parecer lineal según la figura 7, en realidad no lo es.

Según la figura 7 la concentración de un gas en partes por millón (ppm) hay una relación de resistencia del sensor (RS/R0). A partir de la ecuación

$$S \cong S_0 \frac{t}{sE} \left[\int_0^\infty Qa(x) \left(-\frac{\partial}{\partial} n_{u,x} + \frac{\partial}{\partial} n_{d,x} \right) dx \right]$$

podemos encontrar la concentración de gas CO₂ supongamos que:

$$s = CO_2$$

$$s_0 = \frac{1}{m} \frac{RS}{R0}$$

$$\frac{1}{b} = -\frac{t}{s_E} \left[\int_0^{\infty} Q a(x) \left(-\frac{\partial}{\partial} n_{u,x} + \frac{\partial}{\partial} n_{d,x} \right) dx \right]$$

Entonces para el cálculo del CO₂ mediante el sensor MQ-135 sería:

$$CO_2 = \left(\frac{1}{m} \frac{RS}{R0} \right)^{\frac{1}{b}} \quad (3.9)$$

Donde RS (3.8) representa la resistencia del sensor que es variable de acuerdo a la acumulación de gas, y R0 es la resistencia del sensor a una concentración conocida sin la presencia de otros gases o en aire fresco.

3.7.2.2. Algoritmo de implementación

En esta subsección se desarrolla el algoritmo para el cálculo del CO₂ mediante el sensor MQ-135 tal como se muestra en el anexo 2:

- ✓ #define m igual 5.2735 que es un factor de escala, obtenido de valores medidos de forma objetiva por otros autores en una regresión exponencial
- ✓ #define b -0.3503 es el exponente, obtenido de valores medidos de forma objetiva por otros autores en una regresión exponencial
- ✓ Calcular los flujos de datos indicando un valor recalibrado R0 = 789873.12
- ✓ Considérese tiempos t en segundos
- ✓ Crear una función ciclo que depende de valores promedio de R0
- ✓ Una segunda función firststep () que depende de flujo de voltajes.
- ✓ Calcúlese los valores obtenidos a partir de los pines analógicos del controlador
- ✓ Crear una función voltaje = valores que multiplica a (5.0 / 1023.0);
- ✓ Crear variables con flujo de valores medias, valores generales, suma de valores y valor medio.
- ✓ Crear una función con condiciones i=0, i<5, conteo i++ que depende de valores obtenidos de los pines analógicos.
- ✓ Crear una suma de valores = Suma de valores+ valor general;
- ✓ Datos de voltaje = valores medios * (5.0 / 1023.0) conversión de la lectura en un valor de tensión
- ✓ Resistencia medida del sensor RS = RL*(5.0-voltaje) /voltaje
- ✓ Crear una función rSrO = flujo de RS / flujo de R0;
- ✓ Crear una condiciones rSrO < maxRs.Ro y rSrO > mínimo de RsRo
- ✓ Finalmente crear una función co2 = pow((RS/R0)/m,1/b) que calcula la

concentración de los gases

3.7.3. Control de escalas de contaminación

En esta sección se realiza un estudio de las teorías de sistemas de control y los métodos que podrían ser útil para regular la contaminación del aire por congestión vehicular

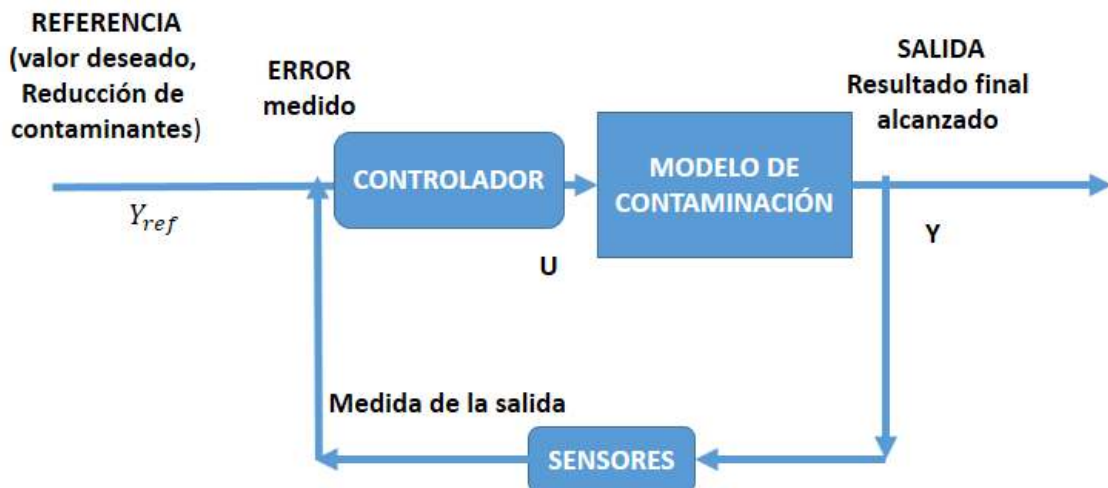
3.7.3.1. Teorías de control

En este trabajo es muy importante considerar la interconexión de los componentes que forman una configuración del modelo de contaminación que proporcionara una respuesta deseada, es decir relacionar entre la causa y efecto para sus componentes.

La representación esquemática de control y monitoreo de contaminación ambiental en el presente estudio se visualiza en la figura 8.

Figura 8

Representación esquemática de control de monitoreo de contaminación ambiental



Nota. La gráfica muestra que, a partir de la lectura del sensor del contaminante se regula las escalas de contaminación

En la práctica un sistema puede tener múltiples entradas y múltiples salidas, se asume que para r entradas se tiene $u_1(t), u_2(t), u_3(t), \dots, u_r(t)$ y para m salidas se tiene $y_1(t), y_2(t), y_3(t), \dots, y_m(t)$. Defínase n salidas para el integrador de la variable estado: $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$, donde el sistema es definido de la siguiente forma:

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)$$

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)$$

$$\dot{x}_n(t) = f_n(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)$$

La salida $y_1(t)$, $y_2(t)$, $y_3(t)$, ... $y_m(t)$ el sistema está dada por:

$$y_1(t) = g_1(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)$$

$$y_2(t) = g_2(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)$$

$$y_m(t) = g_m(x_1, x_2, \dots, x_n; u_1, u_2, \dots, u_r; t)$$

Una categorización de sistemas de control es basado y estructurado con respecto a leyes físicas en que es definida. Por lo que, habría sistemas físicos mecánicos, eléctricos, hidráulicos, neumáticos, térmicos, biológicos, etc (Astrom, 2008).

En caso de que el sistema sea de primer orden:

$$\dot{s} = -s \frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d) + u(t)d \quad (3.10)$$

Suponiendo que $s=y$

$$\dot{y} + y \frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d) = u(t)d \quad (3.11)$$

Al considerar constantes a los coeficientes 1 , $\frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d)$ y d , se obtendrá una función de transferencia simbolizada por $G(s)$ del sistema que transformará al dominio s la ecuación (3.11) utilizando la transformada de Laplace y poniendo $y(0)$ como la condición inicial queda como sigue,

$$sY(s) + Y(s) \frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d) = U(s)d \quad (3.12)$$

$$Y(s)[s + \frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d)] = U(s)d \quad (3.13)$$

$$Y(s) = U(s) \frac{d}{s + \frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d)} \quad (3.14)$$

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} = \frac{d}{s + \frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d)} \quad (3.15)$$

Donde los polos de la función de transferencia son $p = -\frac{a_0 Q}{s_E} (n_u - n_d)$

Luego la ecuación (3.15) se reescribe como

$$G(s) = \frac{d \frac{s_E}{a_0 Q} (n_u - n_d)}{\frac{s_E}{a_0 Q} (n_u - n_d) s + 1} \quad (3.16)$$

$$G(s) = \frac{d \frac{s_E}{a_0 Q} (n_u - n_d)}{\frac{s_E}{a_0 Q} (n_u - n_d) s + 1} \quad (3.17)$$

Si

$$k = d \frac{s_E}{a_0 Q} (n_u - n_d)$$

$$T = \frac{s_E}{a_0 Q} (n_u - n_d)$$

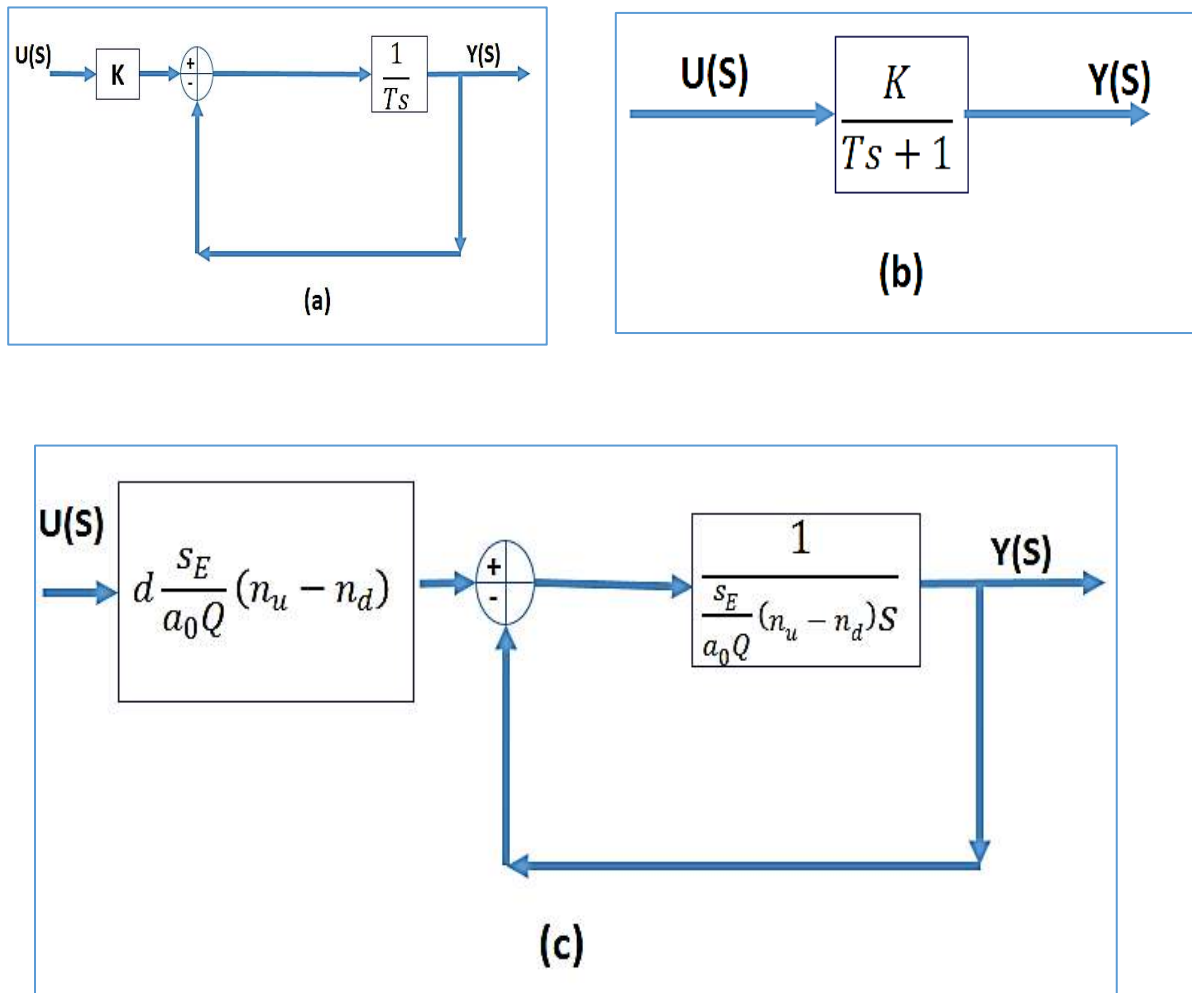
k sería la Ganancia del sistema (factor de amplificación entre salida y entrada) y

T sería Constante de tiempo del sistema en (segundos).

$$G(s) = \frac{K}{Ts+1} \quad (3.18)$$

Figura 9

Diagrama de bloques del sistema

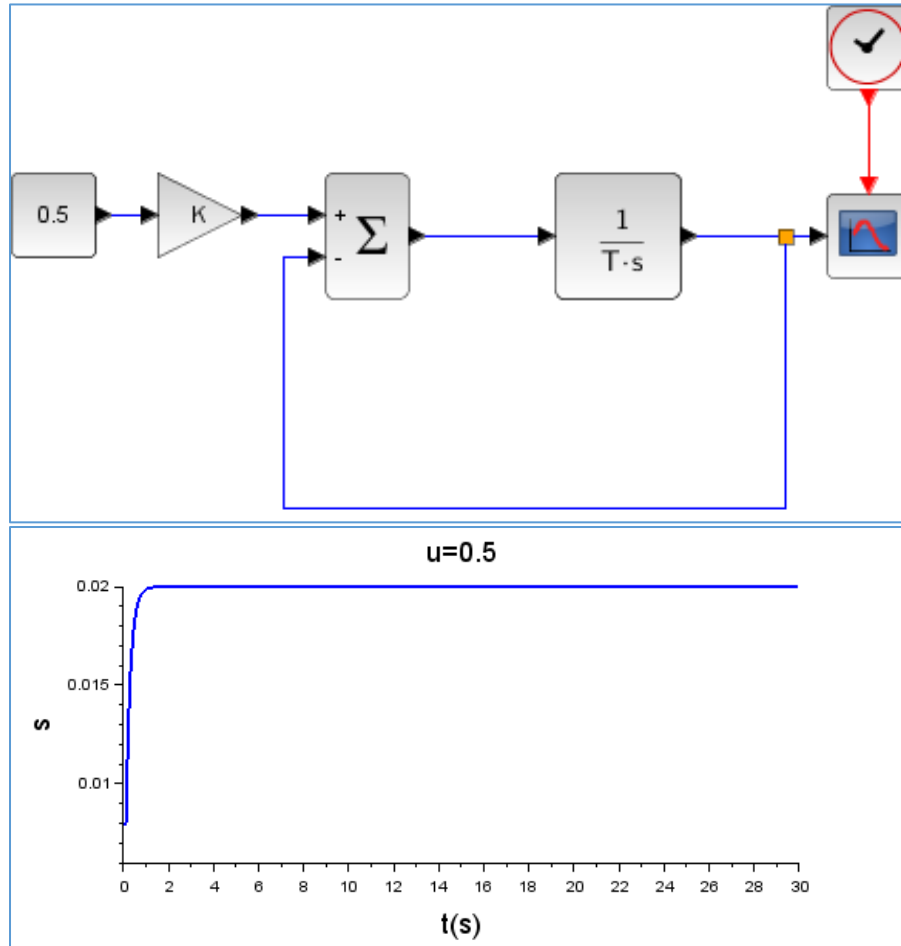


Nota. (a) diagrama de bloques del sistema de primer orden (b) diagrama de bloques simplificado (c) diagrama de bloques con los valores de contaminantes donde se tiene el tamaño de distribución.

Para observar el comportamiento del modelo es necesario la simulación del software SCILAB 1.64

Figura 10

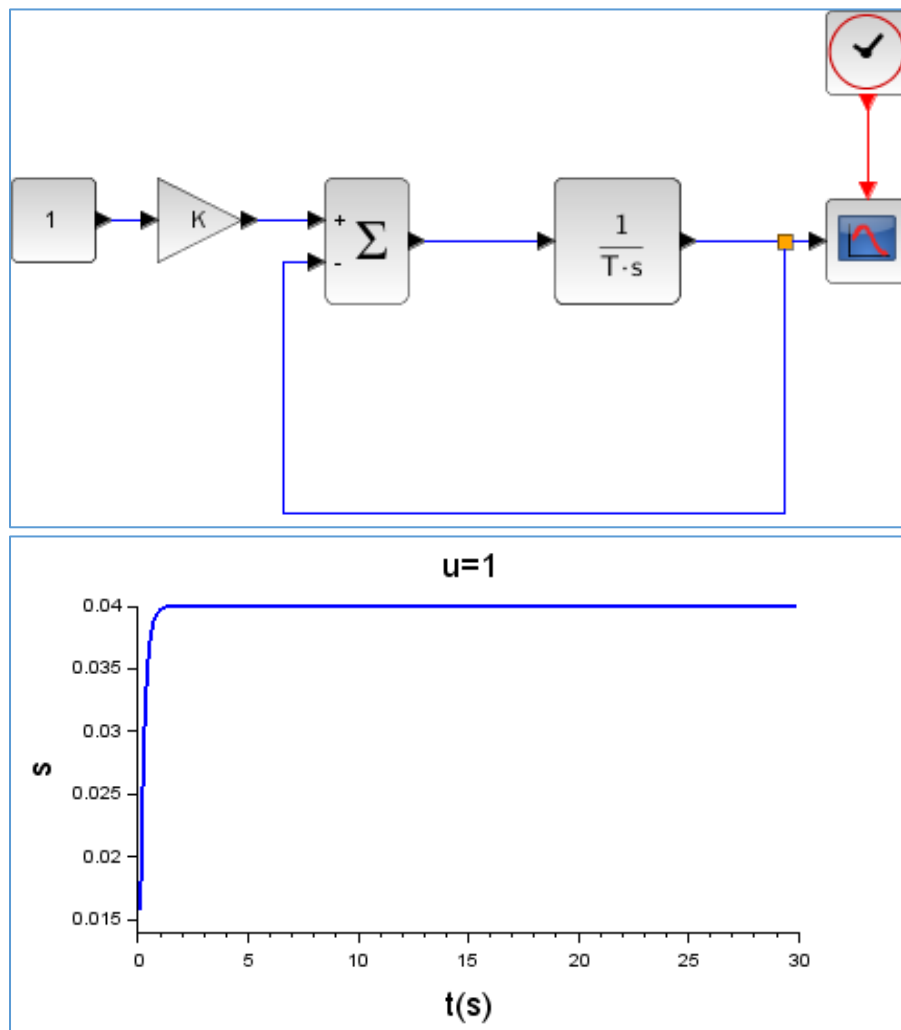
Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $u=0,5$



Nota. Simulación del modelo de contaminantes de partículas reales, con una distribución de tamaño de partícula, con entrada de señal constante de $u=0,5$ alcanzando $Y(s)=0,02$ en un tiempo de 2 segundos aproximadamente. Ingresando a un régimen permanente y estable.

Figura 11

Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $u=1$

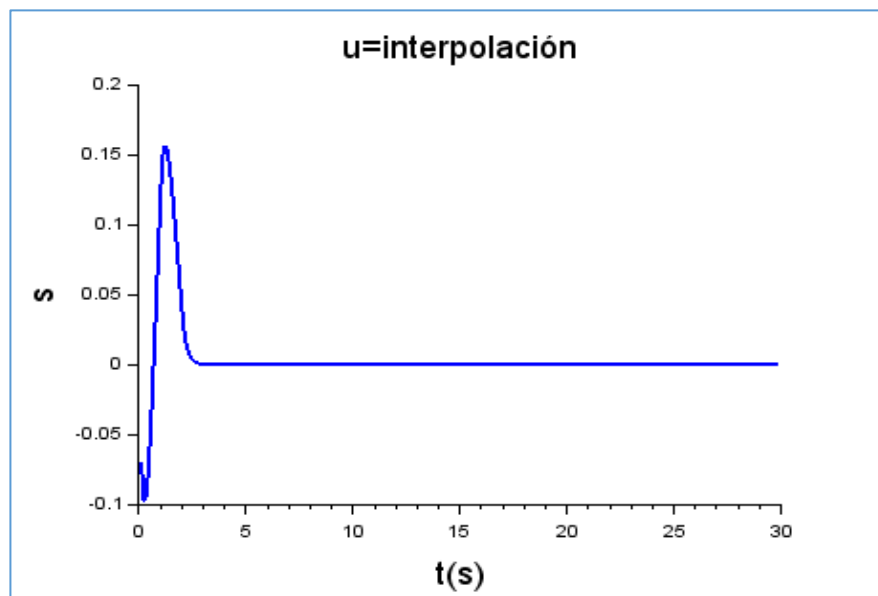
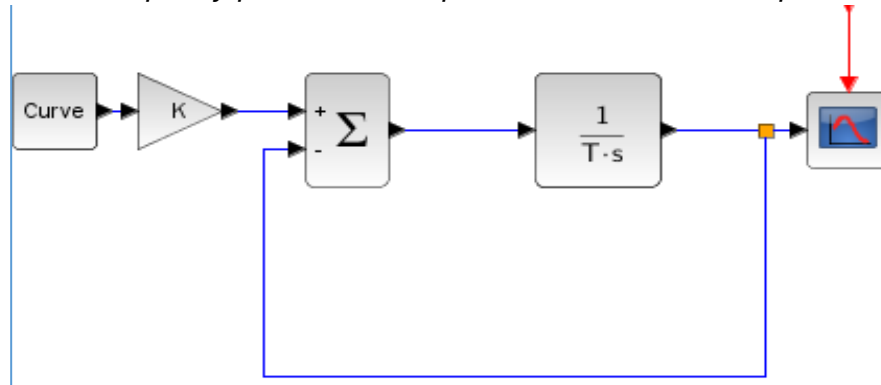


Nota. Simulación del modelo de contaminantes de partículas reales, con una distribución de tamaño de partícula con entrada de señal constante de $u=0,5$ alcanzando $Y(s)=0,04$ en un tiempo de 2 segundos aproximadamente. Ingresando a un régimen permanente y estable.

Colocamos un bloque que defina una función tabulada del tiempo de tal manera que el bloque entre puntos de malla realiza una interpolación lineal.

Figura 12

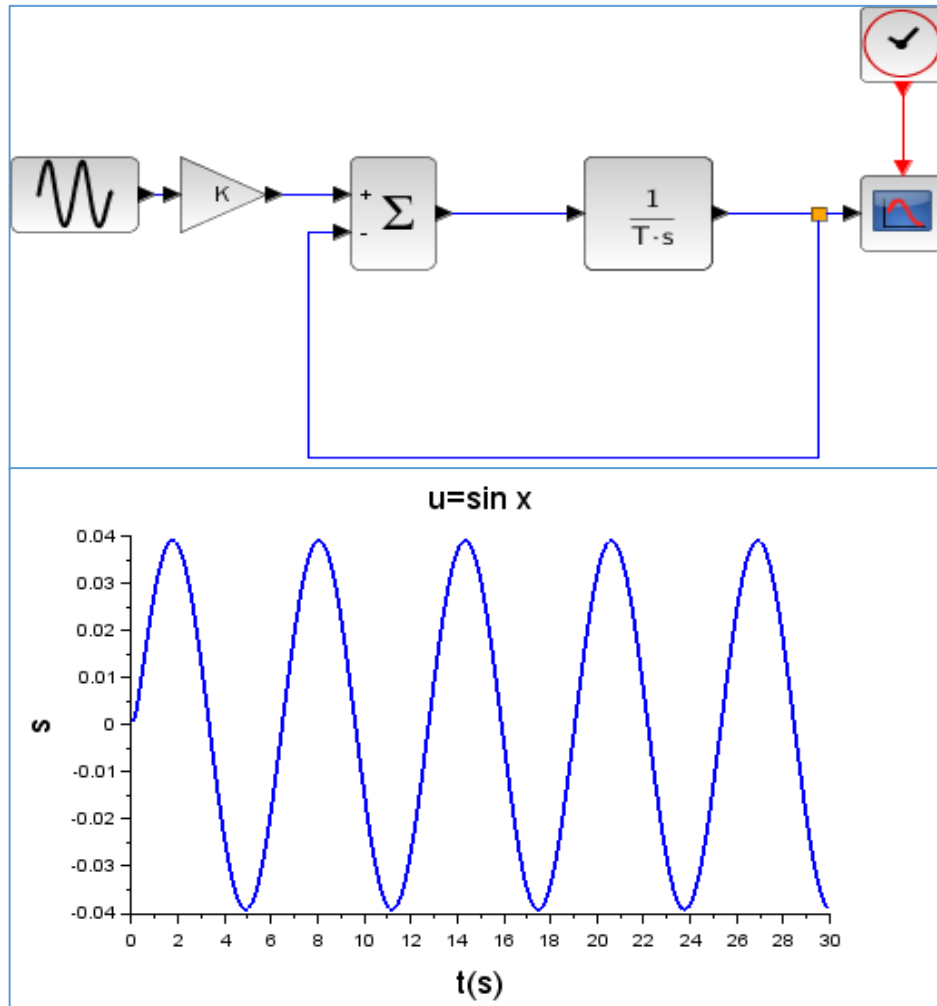
Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con u=interpolación



Nota. Simulación del modelo de contaminantes de partículas reales, con una distribución de tamaño de partícula con entrada de señal variable de u=interpolación, inicializando desde valores negativos y alcanzando $Y(s)=0.16$ en un tiempo de 3 segundos aproximadamente, originando valles de estabilidad. Luego a partir de los 4 segundos ingresando a un régimen estacionario estable en cero.

Figura 13

Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $u=\text{senoidal}$



Nota. Simulación del controlador para el modelo de contaminantes de partículas reales, con una distribución de tamaño de partícula con entrada de señal variable de $y_{\text{ref}}=\text{senoidal}$, inicializando desde valores cero y alcanzando $Y(s)=0,04$ en un tiempo de 2 segundos aproximadamente, originando valles y picos continuos.

3.7.3.2. Control PI

En la presente tesis se pretende desarrollar un sistema de control de monitoreo para regular los contaminantes por congestión vehicular, por ello proponemos se desarrolle un método de control proporcional e integral.

Este método se define como controladores proporcionales e integrales, comúnmente llamados PI y proporcionales, integrales y derivativos, o simplemente PID, son los tipos de control de retroalimentación (feedback) más conocidos. Están presentes en más de la mitad de los controladores industriales en uso hoy en día, empleando

configuraciones para controlar variables como la presión, la conductividad hidráulica, la difusividad hidráulica o el caudal (Vasconcellos, 2017; Aström & Hägglund, 1995). En este caso deseamos monitorear con uso de controladores ambientales el nivel de contaminantes o calidad de aire en las zonas más congestionadas del distrito de Ayacucho.

La parte proporcional es un feedback simple de la forma siguiente (Aström & Hägglund, 1995).

$$u_p(t) = K_p(t)e(t) \quad (3.19)$$

Donde e es el error de control y K_p es una ganancia del controlador. El error será definido como la diferencia entre los puntos de ajuste y_{ref} y la salida del proceso y , es decir la ecuación es de la forma

$$e(t) = y_{ref}(t) - y \quad (3.20)$$

La respuesta del punto de ajuste tan bien puede ser influenciada por unos pre filtros (Aström & Hägglund, 1995). Normalmente esta representa errores de estado estacionario.

Por otro lado, el control integral (I) es introducida para corregir esos comportamientos y es de la forma siguiente:

$$u_i(t) = K_i \int_0^t e(t)dt = \frac{K_p}{T_i} \int_0^t e(t)dt \quad (3.21)$$

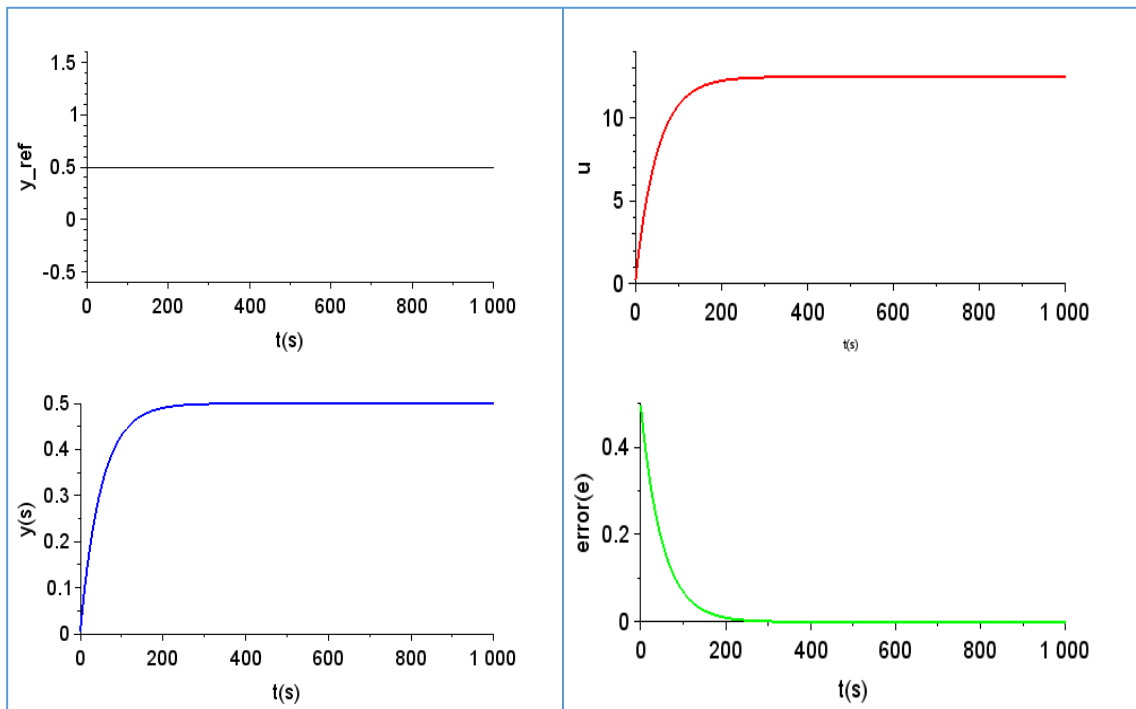
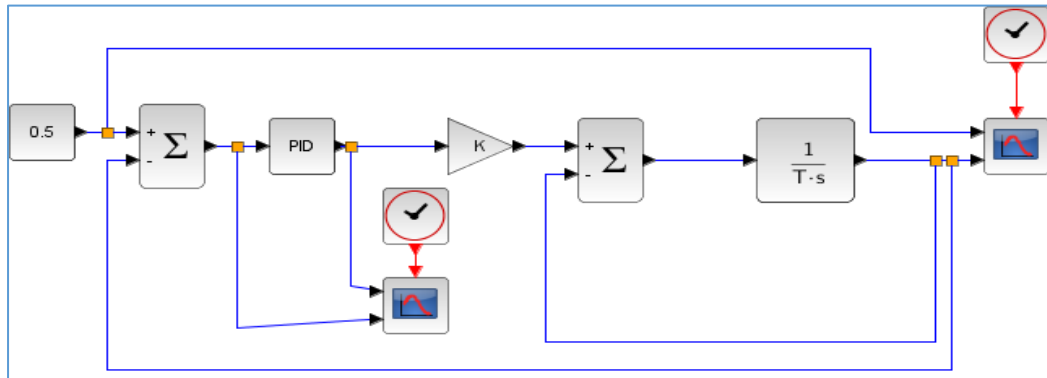
Donde K_i es la ganancia integral, T_i es el tiempo de integración. La idea es simplemente que la acción de control sea realizada inclusive si el error es muy pequeño, desde que la medida del error tenga la misma señal para largos periodos.

Por lo tanto, el control PI sería denotado de la forma:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t)dt \right]$$

Figura 14

Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con $y_{ref}=0.5$



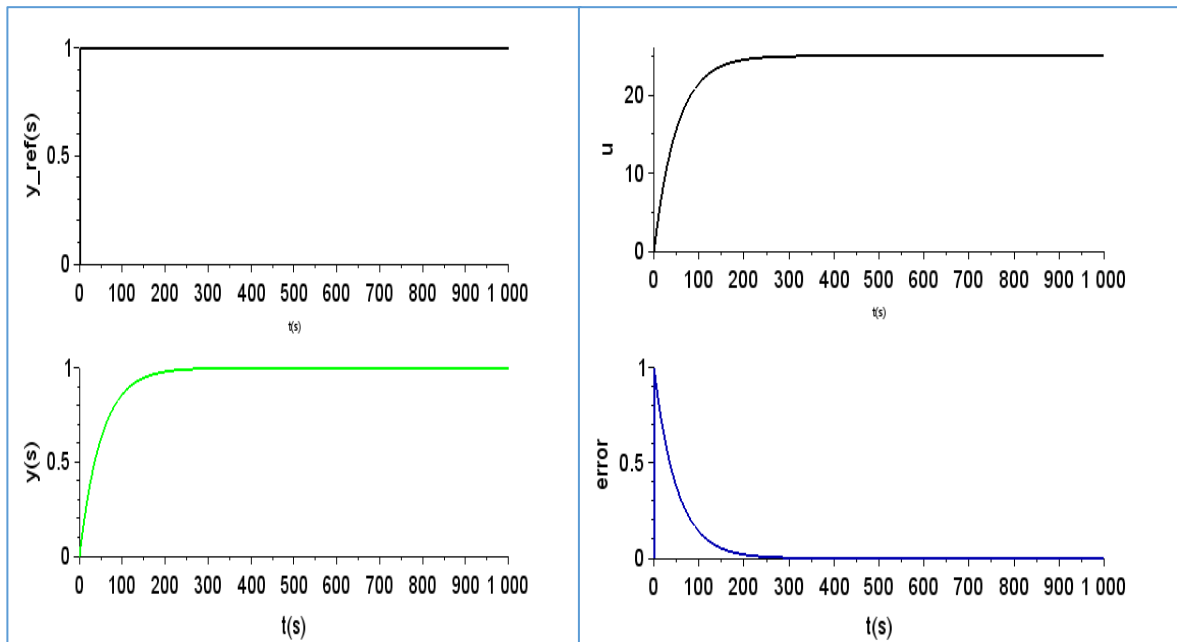
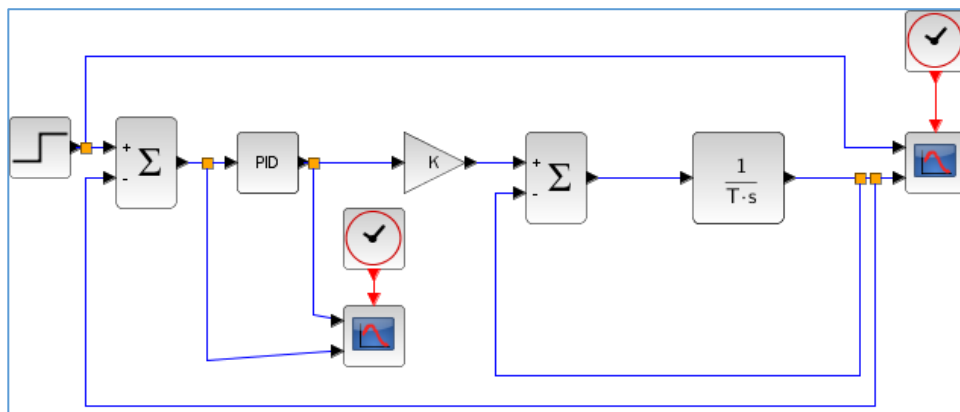
Nota. Simulación del controlador para el modelo de contaminantes de partículas reales, con una distribución de tamaño de partícula con señal de referencia de $y_{ref}=0.5$.

De acuerdo a la ilustración la figura izquierda representa la estabilidad del

sistema cuando se desea controlar, alcanzando al objetivo permisible, manteniéndose en régimen permanente. Para las figuras del lado derecho (figura 14) muestran las entradas y el error bien definido (tendiendo a cero), por lo tanto, el sistema de control de contaminantes está correcto.

Figura 15

Diagrama de bloques y patrón de comportamiento con y_{ref} =rampa



Nota. Simulación del controlador para el modelo de contaminantes de partículas reales, con una distribución de tamaño de partícula con señal de referencia de $y_{ref}=\pm 1$.

De acuerdo a la ilustración la figura izquierda representa la estabilidad del sistema cuando se desea controlar, alcanzando al objetivo permisible, manteniéndose en régimen permanente. Para las figuras del lado derecho (figura 15) muestran las

3.7.5. Identificación del objetivo para obtención de datos

Para el desarrollo de la tesis acerca del gas contaminante CO₂ determinada por equipos de monitoreo ambiental fue necesario el análisis de la presencia de errores sistemáticos en diseño de la investigación, criterio y forma de registro y evaluación de las variables de estudio. Por lo que es válido los equipos a utilizar en la presente investigación ya que paso por un filtro de calibración tanto a nivel de componentes físicos como también a nivel de uso del software utilizado en la plataforma Arduino 1.8.19. (Villasís-Keever et al, 2018)

Figura 17

Equipos de monitoreo de contaminantes



Nota. La figura muestra los equipos de monitores de contaminantes V.A., donde se realizará las calibraciones correspondientes para obtener datos reales para luego ser analizados.

3.7.5.1. Área de estudio 1

Jr. Quinoa con Jr. Asamblea (Residencia Universitaria)

Como se observa en la figura 17 se visualiza el área de estudio 1 correspondiente a la intersección del Jirón Quinoa con Jirón Asamblea cerca de la residencia de estudiantes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Figura 18

Elección de zonas de estudio



Nota. En la figura se muestra al autor con los equipos de monitoreo ambiental, para el inicio de toma de datos de las zonas de mayor congestión vehicular, a su vez el aprovechamiento de la energía solar

En la figura 18 se observa la recolección de datos según el Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos (2005) mediante los controladores de monitoreo ambiental (ANEXO V) en el área de estudio 1 correspondiente a la intersección del Jirón Quinua con Jirón Asamblea cerca de la residencia de estudiantes de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Figura 19

Recolección de datos mediante los controladores de monitoreo



Nota. En la figura se muestra el instante que el autor recolecta los datos de los controladores de monitoreo ambiental, entre las 11:00 am a 1:00 pm, jr. Asamblea, un lugar con alta congestión vehicular.

3.7.5.2. Área de estudio 2

Ex-Guamán Poma de Ayala, Av. Independencia

Como se observa en la figura 19 se identificó el área de estudio 2 correspondiente al ex Guamán Poma de Ayala con intersección de la Avenida Independencia.

Figura 20

Elección de zonas de estudio ex Guamán Poma de Ayala



Nota. En la figura se muestra al autor con los equipos de monitoreo ambiental, con el inicio de toma de datos de las zonas de mayor congestión vehicular en las esquinas de ex Guamán Poma de Ayala, a su vez el aprovechamiento de la energía solar.

En la figura 20 se observa el análisis constante del comportamiento de los datos mediante los controladores de monitoreo ambiental en el área de estudio 2 correspondiente al ex Guamán Poma de Ayala con intersección de la Avenida Independencia según el Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos (2005) que se muestra en el ANEXO V.

Figura 21

Análisis constante del comportamiento de los datos



Nota. En la figura se muestra los análisis de datos durante las horas de alta congestión vehicular. De la misma manera se observa vehículos como moto-taxi, autos, camionetas que son fuentes que emanan compuestos contaminantes.

3.7.5.3. Área de estudio 3

Mercado central, Memorial del Arco (Jr. Carlos F. Vivanco)

El Mercado Central y el Memorial del Arco, identificados como área de estudio 3 (Figura 22), fueron objeto de un análisis de la calidad del aire. Los datos recopilados fueron procesados de acuerdo con el protocolo descrito en el Anexo V del “Protocolo de monitoreo de la calidad del aire y gestión de los datos“(2005).

Figura 22

Análisis constante del comportamiento de los datos mercado central y memorial del arco



Nota. En la figura se muestra los análisis de datos durante las horas de alta congestión vehicular. De la misma manera se observa vehículos como moto-taxi, autos, camionetas que son fuentes que emanan compuestos contaminantes.

3.7.6. Operador de calibración de datos obtenidos de los parámetros ambientales

El proceso de calibración del controlador ambiental de concentración de CO_2 es muy importante debido a que permitirá obtener datos con menos cantidad de error, es decir minimizar los errores obtenidos debido a la perturbación del medio o toma de datos. De la siguiente forma (Anexo 2):

- Considerar los valores actuales del parámetro CO_2
- Analizar el valor medio
- Calcular la suma de valores desde un valor inicial 0
- Análisis de los voltajes de operación del sensor
- Iniciar el proceso de calibración considerando una condición con función $j=0, j<t$, iniciar conteo $j++$.
- Los valores serán obtenidos a partir de los analógicos del controlador
- Calcular una resistencia actual considerando valores actuales dependientes de la función j .

- Actualización de la función. Sumando los Valores=RS+ valores anteriores
- Calcular los Rs y R0 actuales, considerando CO₂ actual constante en ppm

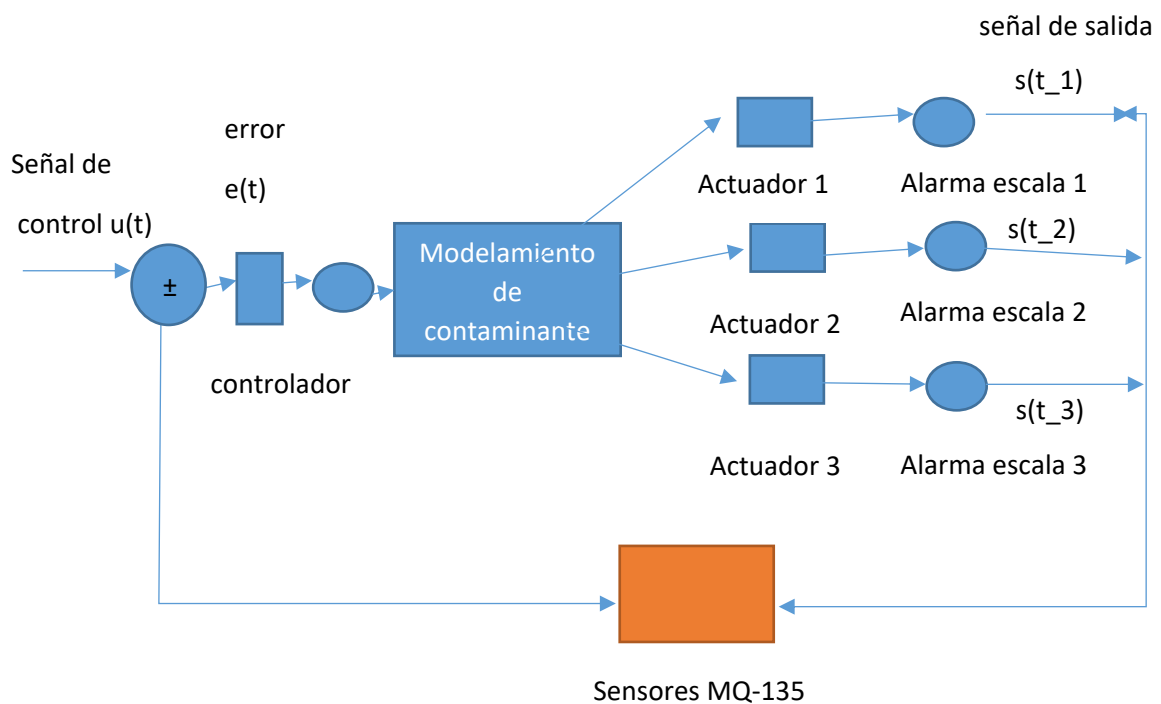
3.7.7. Validación del modelamiento de escalas de contaminación

En esta sección se propone la implementación de un controlador con 3 actuadores basado en modelo de contaminante del aire, que permitirá identificar las escalas o niveles de contaminación. Seguidamente implementé un método de control ya sea un método de control proporcional, integral o derivativo (PI O PID).

Experimentalmente los microcontroladores deben poseer una estructura robusta o un sistema integrado basado mediante PLCs. Para esta prueba de validación se usan microcontroladores Arduino y sensores MQ-135, alarmas para efectos de prueba y validación.

Figura 23

Control de escalas o niveles de contaminante con 3 actuadores



Nota. La figura muestra que a partir de tres actuadores se permite determinar las escalas o niveles de contaminación por intervalos, que representan la señal de salida

Figura 24

Pruebas experimentales de control de escalas o niveles de contaminación 1



Nota. Experimento de escalas o niveles de contaminante de aire, en un auto Chevy Taxy-2008 de marca CHEVROLET, se realizan las pruebas, muy cercanos a los tubos de escape.

Figura 25

Pruebas experimentales de control de escalas o niveles de contaminación 2



Nota. Segunda prueba experimento de control escalas o niveles de contaminante de aire, en un auto Chevy Taxy-2008 de marca CHEVROLET, se realizan las pruebas, muy cercanos a los tubos de escape.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. MODELAMIENTO DE ESCALAS O NIVELES DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE

Con el modelo de contaminación implica (Modelo de contaminación del aire) que es la ecuación diferencial ordinaria siguiente

$$ds = -\frac{s}{s_E} a_0 Q (n_u - n_d) dt \quad (4.1)$$

Calculamos de manera adecuada la concentración del gas contaminante mediante el sensor MQ-135 que está presente en el microcontrolador ambiental.

4.2. CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR TRÁFICO VEHICULAR

Con el código fuente programado en el entorno Arduino se determina la solución del modelo que está impregnada en el microcontrolador junto con el sensor MQ-135. Que permite obtener la concentración de CO₂ en tiempo real (Anexo II).

A partir de la ecuación (4.1) se obtiene que

$$s \cong s_0 - \frac{t}{s_E} \left[\int_0^\infty Q a(x) \left(-\frac{\partial}{\partial} n_{u,x} + \frac{\partial}{\partial} n_{d,x} \right) dx \right]$$

podemos encontrar la concentración de gas CO₂ supongamos que:

$$s = CO_2$$

$$s_0 = \frac{1}{m} \frac{RS}{RO}$$

$$\frac{1}{b} = -\frac{t}{s_E} \left[\int_0^\infty Q a(x) \left(-\frac{\partial}{\partial} n_{u,x} + \frac{\partial}{\partial} n_{d,x} \right) dx \right]$$

Entonces para el cálculo del CO₂ mediante el sensor MQ-135 sería:

$$CO_2 = \left(\frac{1}{m} \frac{RS}{R0}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (4.2)$$

Donde RS representa la resistencia del sensor que es variable de acuerdo a la acumulación de gas, y R0 es la resistencia del sensor a una concentración conocida sin la presencia de otros gases o en aire fresco.

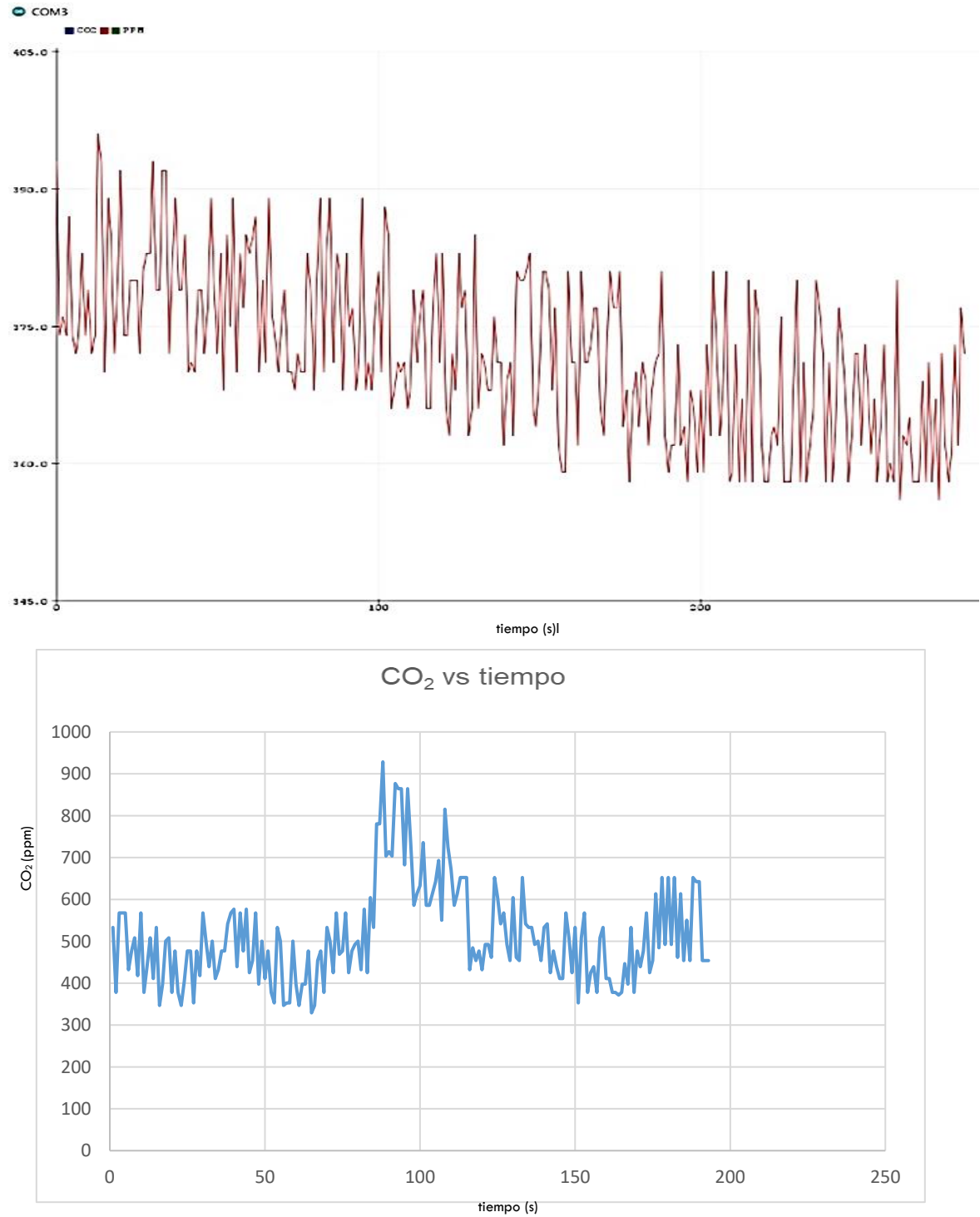
Que determina una influencia en la degradación o destrucción del nicho ecológico como se muestra en las figuras 26, 27, 28 y 29.

4.3. PATRÓN DE COMPORTAMIENTO DE LA CALIDAD DE AIRE

Debido al exceso de transporte de vehículos por las vías públicas y provocado sobre todo quema de combustibles fósiles, en especial gasolina y Diésel 34 de vehículos pequeños y grandes del distrito de Ayacucho. Se identificaron gases contaminantes más comunes que se propaga debido al parque automotor estas son CO₂, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos volátiles y micropartículas. Están presentes también compuestos de plomo y una cantidad minoritaria dióxido de azufre y de sulfuro de hidrógeno que para ser estudiados requieren de cierta cantidad de sensores específicos. El tráfico vehicular es una fuente importante de dióxido de carbono. Es por ello que para la presente investigación se utilizaron controladores de monitoreo CO₂, de "Villa Automation" descritos en la subsección 2.3.5.1. conjuntamente con los parámetros climáticos.

Figura 26

Simulaciones en tiempo real de concentración de CO₂ en el Jr. Quinoa con Jr. Asamblea (Residencia Universitaria)

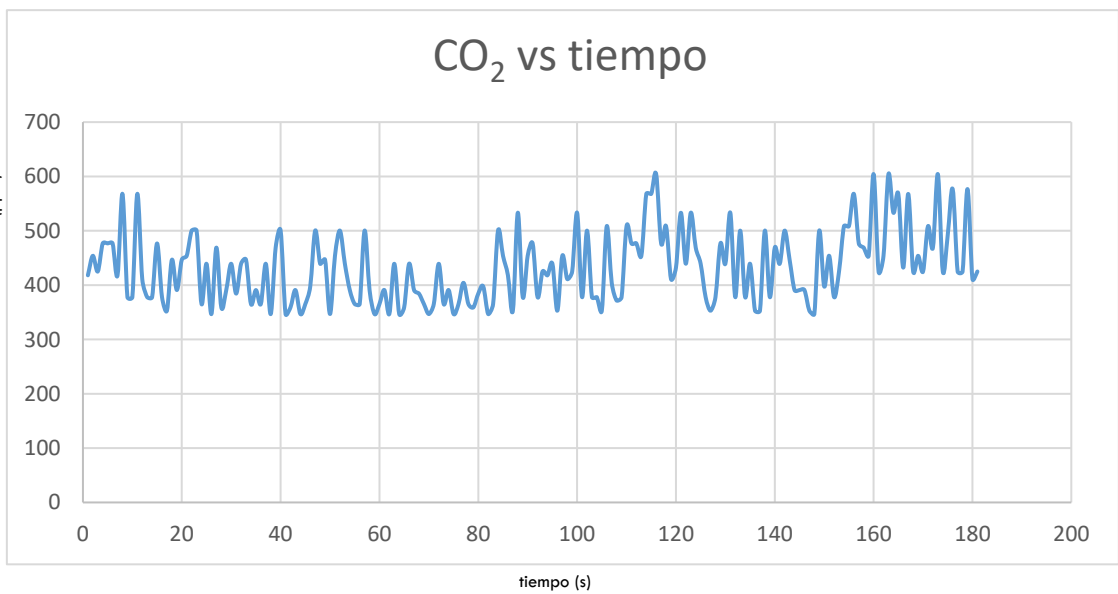
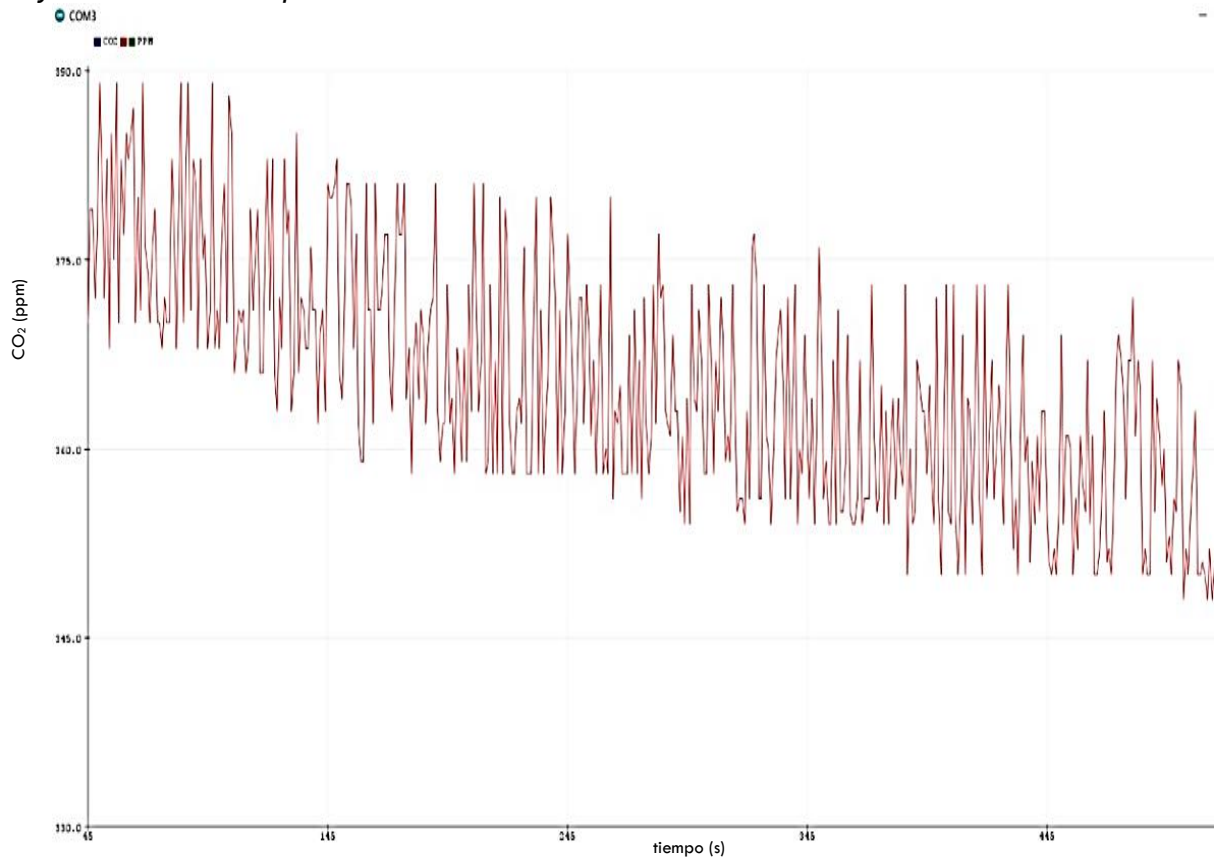


Nota. Inicio de toma de datos 7:57 a.m. del día 10/05/2023 en el área 1, los niveles de CO₂ ascienden de manera paulatina debido a tráfico vehicular.

En la figura 26 los valores ponderados bordean entre los 350 a 395 ppm tal como muestra la figura superior medida en tiempo real, en esta región, según la tabla 1 el nivel de CO₂ (Vaisala, 2019) determina una concentración atmosférica típica y tolerable. Mientras que la figura inferior muestra que los valores ponderados bordean entre los 349 a 910 ppm medida en un Intervalo de tiempo corto, en esta región, según la tabla 1 el nivel de CO₂ (Vaisala, 2020) determina una concentración atmosférica típica y tolerable.

Figura 27

Simulaciones en tiempo real de concentración de CO₂ en el Ex-Guamán Poma de Ayala con Av. Independencia

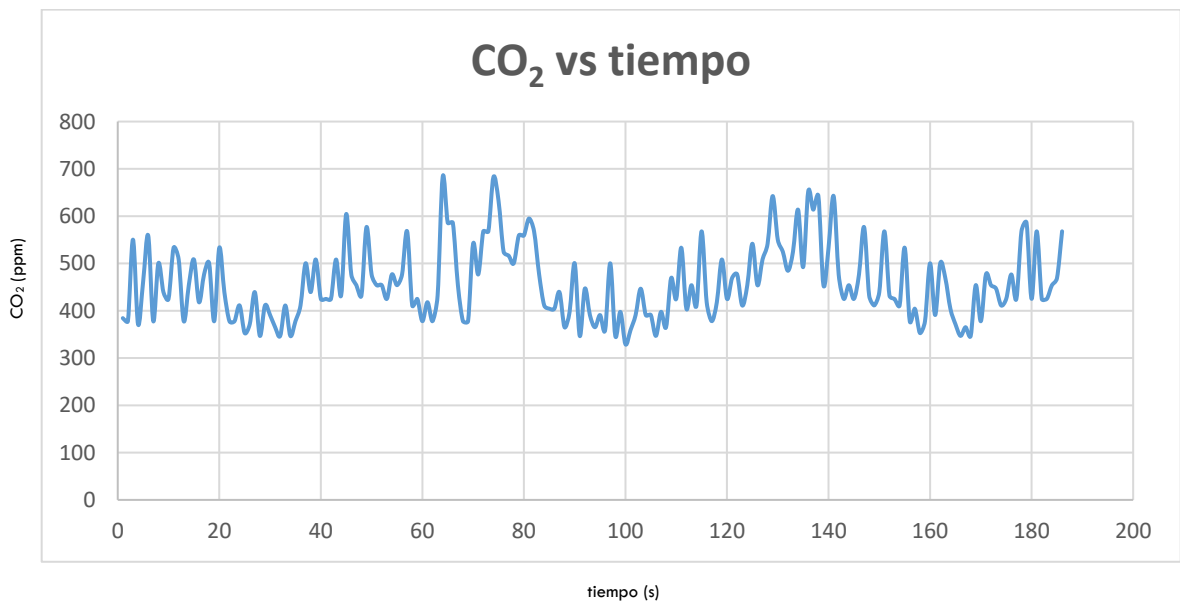
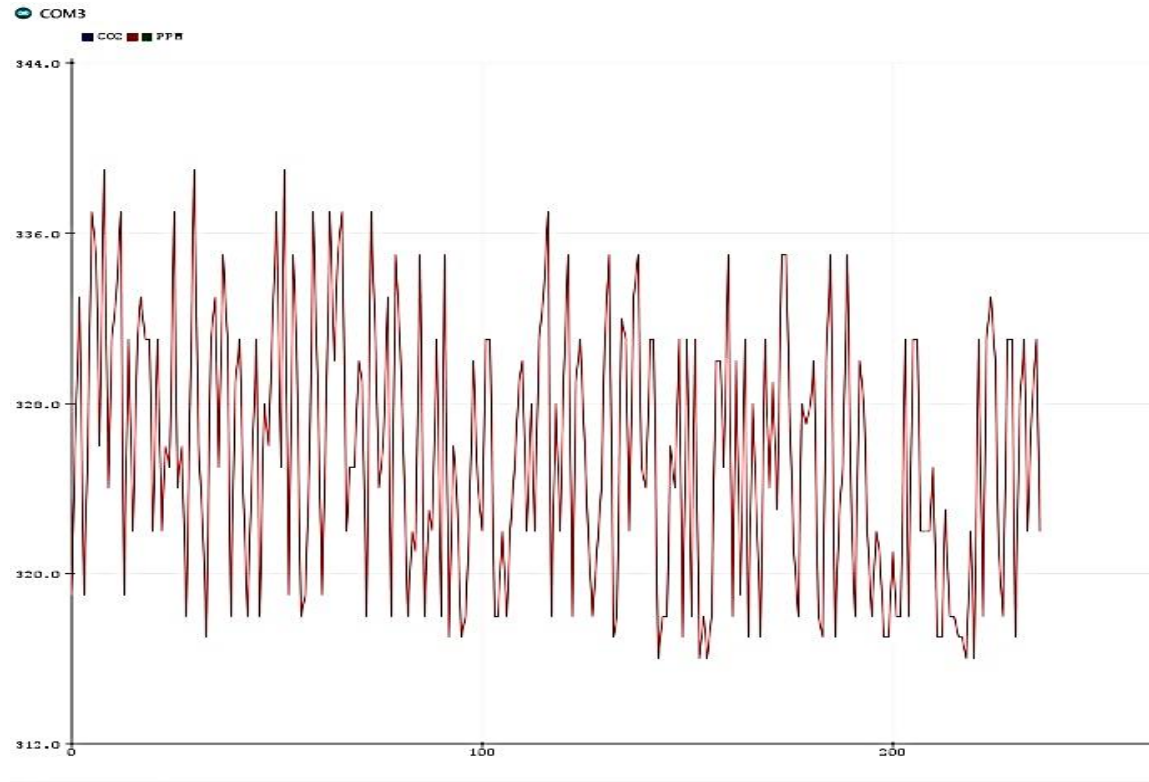


Nota. Inicio de toma de datos 8:05 a.m. del día 17/05/2023 en el área 2, los niveles de CO₂ se mantiene en un nivel bajo debido a la nubosidad y vientos suaves.

En la figura 27 los valores ponderados bordean entre los 350 a 388 ppm, como se muestra en la figura superior medida en tiempo real, en esta región, según la tabla 1 el nivel de CO₂ (Vaisala, 2019) determina una concentración atmosférica típica y tolerable. Mientras que la figura inferior muestra que los valores ponderados bordean entre los 350 a 690 ppm medida en un intervalo de tiempo corto, en esta región, según la tabla 1 el nivel de CO₂ (Vaisala, 2019) determina una concentración atmosférica típica y tolerable.

Figura 28

Simulaciones en tiempo real de concentración de CO₂ en el Mercado central, Memorial del Arco (Jr. Carlos F Vivanco).

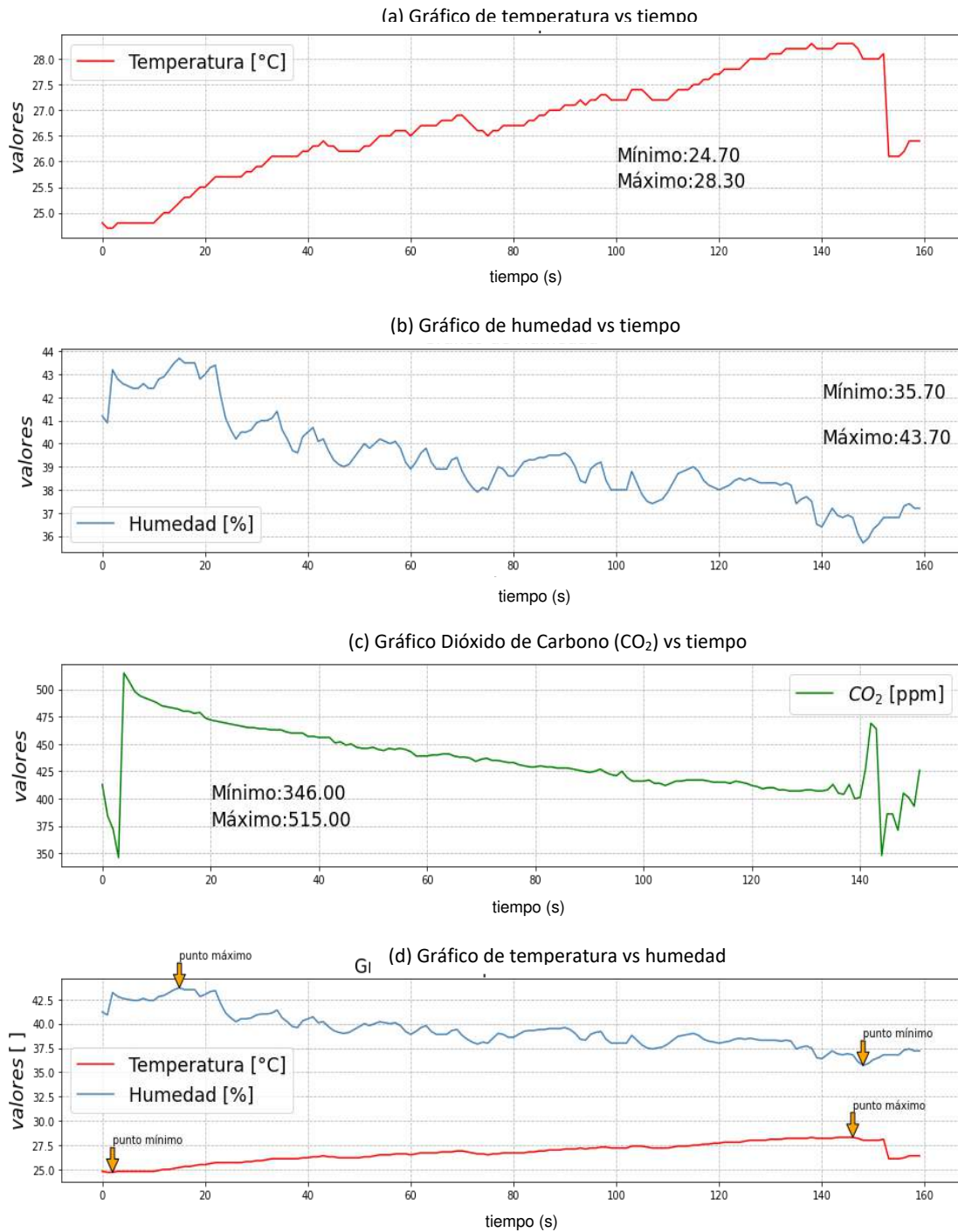


Nota. Inicio de toma de datos 8:15 a.m. del día 24/05/2023 en el área 3, los niveles de CO₂ se mantiene en un nivel equilibrado debido a la nubosidad y vientos suaves.

En la figura 28 los valores ponderados bordean entre los 316 a 340 ppm medida en tiempo real, en esta región, según la tabla 1 el nivel de CO₂ (Vaisala, 2019) determina una concentración atmosférica típica y tolerable. Mientras que la figura inferior muestra los valores ponderados que bordean entre los 350 a 600 ppm medida en un intervalo de tiempo corto, en esta región, según la tabla 1 el nivel de CO₂ (Vaisala, 2019) determina una concentración atmosférica típica y tolerable.

Figura 29

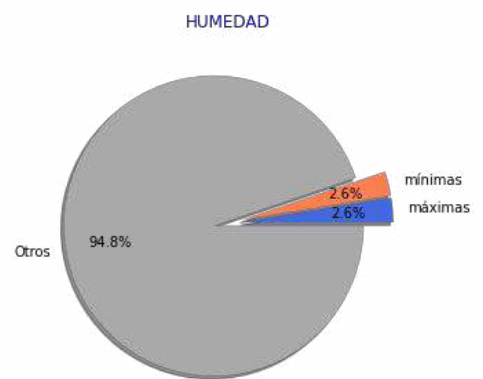
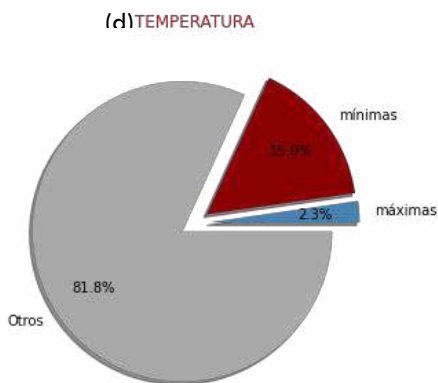
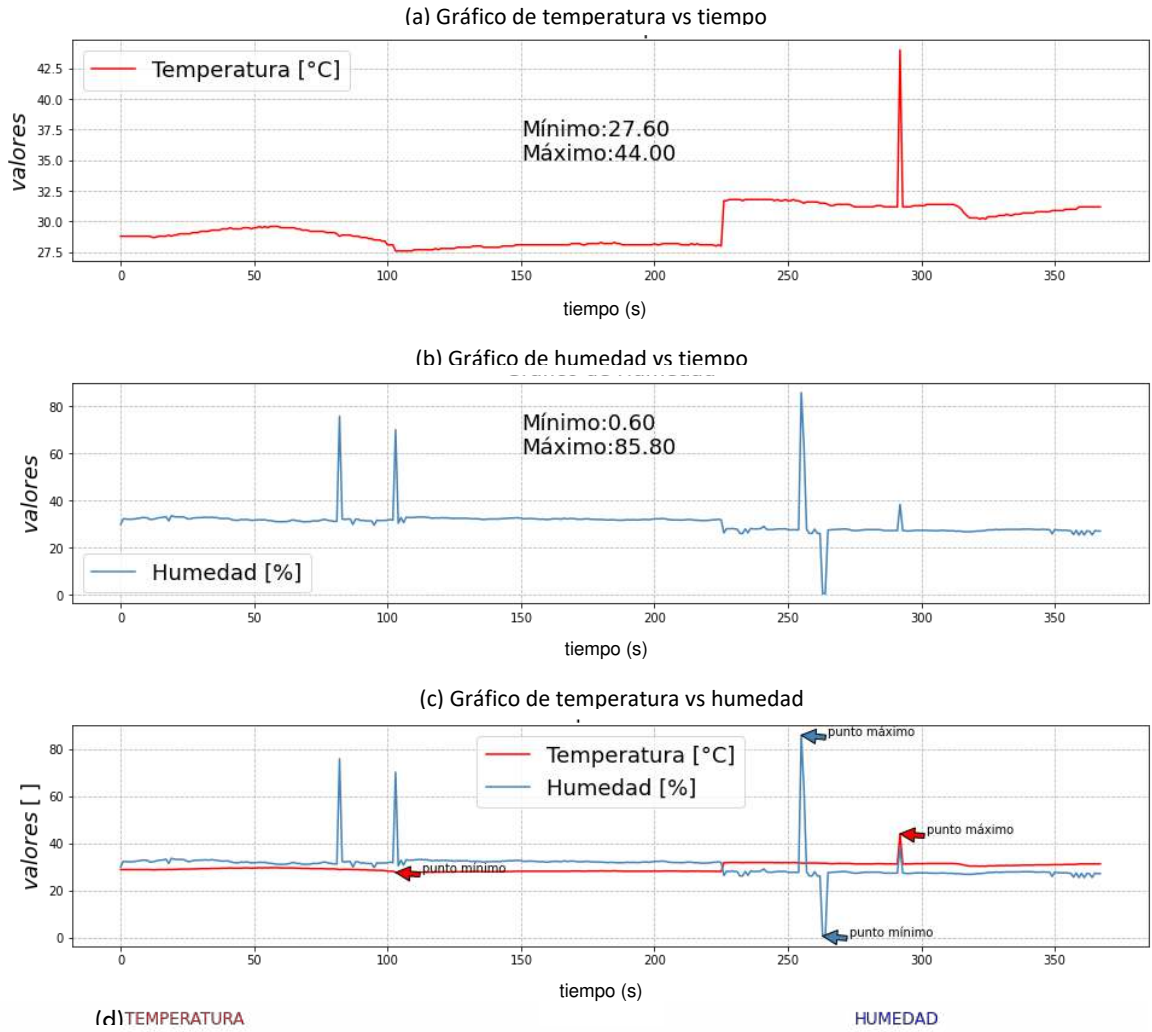
Procesamiento de los datos adquiridos durante la medición por controladores



Nota. Resultado de toma de datos en tiempo real

Figura 30

Procesamiento de los datos adquiridos durante la medición por controladores



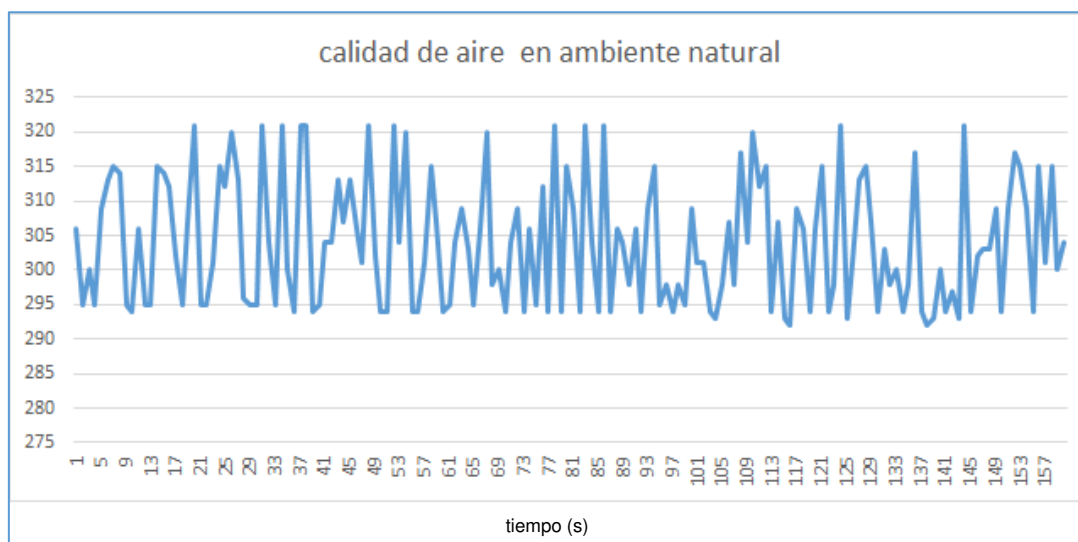
Nota. Procesamiento de los datos adquiridos durante la medición

Interpretación de la toma de datos correspondiente a los gráficos 29 y 30:

1. El primer gráfico muestra el total de datos analizados para humedad, temperatura, CO₂ y Temperatura vs Humedad.
2. El segundo gráfico (a) representa la serie temporal de la temperatura (rojo).
 - Esta incluido sus temperaturas máximas y mínimas en números.
3. El tercer gráfico (b) representa la serie temporal de la humedad (azul).
 - Esta incluido sus humedades máximas y mínimas en números.
4. El cuarto gráfico (c) representa la serie temporal de la temperatura versus humedad con sus puntos máximos y mínimos.
 - Para la temperatura señalada con flechas rojas.
 - Para la humedad señalada con flechas azules.
 - Los picos altos de los gráficos representan cambios bruscos en la toma de datos o toma fallida de los sensores.
 - Existe una correlación entre la humedad y temperatura a medida que se adquieren los datos.
5. El quinto gráfico (d) (Diagrama circular) representa el porcentaje de los datos para Temperatura y Humedad.
 - Derecha: diagrama circular de la humedad. Sus temperaturas máximas y mínimas no se repiten mucho durante la adquisición de datos.
 - Izquierda: diagrama circular de la temperatura. Sus temperaturas mínimas se repiten en varias tomas.

Figura 31

Calidad de aire en zonas sin congestión vehicular



Nota. Se muestra el patrón de la calidad del aire sin la presencia de agentes contaminantes del aire por efecto de tráfico vehicular en el centro poblado de Yanama

4.4. REGULAR ESCALAS DE CONTAMINACION

A partir el diseño y experimentación en tiempo real del microcontrolador - sensor se hizo la programación respectiva por escalas en el software Arduino conectado físicamente a un visor de alarma (ANEXO II)

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la investigación, de acuerdo a la metodología empleada ha permitido determinar el modelamiento de escalas o niveles de contaminación del aire, la solución del modelo que está impregnada en el microcontrolador junto con el sensor MQ-135, también se cuenta con el patrón de comportamiento del CO₂, temperatura, humedad relativa, etc y su respectiva regulación de escalas en el código fuente en la plataforma Arduino conectada al visor de alarma.

Esto significa, que responde a los problemas planteados y se confirma los objetivos alcanzados y las hipótesis planteadas, es decir que el modelamiento de escalas de contaminación del aire permitió el monitoreo del CO₂.

Los resultados obtenidos son corroborados por diferentes investigadores que encontraron resultados similares entre ellos tenemos:

Según Luna (2017), concluye que los sensores de bajo costo empleados en su trabajo tienen un gran potencial para ser usados como complemento de las escasas estaciones estáticas de monitoreo; aumentando, de esta manera, la resolución espacial de las mediciones. Si bien las mediciones de los sensores electroquímicos no necesariamente poseen la precisión o exactitud de los instrumentos tradicionales in situ, son lo suficientemente versátiles y económicos para usarlos en la adquisición de valores de contaminación atmosférica y obtener información preliminar sobre las emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles e incluso podrían identificarse en tiempo real los puntos críticos de contaminación atmosférica, es decir, las áreas con deterioro de la calidad del aire y proponer medidas para revertir esta situación ambiental, o bien mitigar los episodios críticos de contaminación atmosférica sobre los asentamientos poblacionales. La investigación se realizó también empleando la metodología antes indicada en la que se obtuvo concentración de CO₂ en el intervalo de 350 ppm a 600 ppm y en el intervalo de 450 ppm a 610 ppm en el distrito de San Isidro - Lima – Perú de forma similar teniendo en cuenta el tiempo y clima.

Perez (2020) refiere y concluye que 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 via tecnología LoRaWAN. mediante la conexión del dispositivo a Internet. Llegando a determinar concentración de CO₂ en promedio como pico mínimo 451 ppm y máximo de 600 ppm en una cabina simulada de un vehículo en marcha, mientras que en la presente investigación se obtuvo concentraciones de 350 ppm a 690 ppm, difiriendo en una cantidad de 101 ppm y 90 ppm para la concentración mínima y máxima respectivamente, teniendo una ligera variedad.

Rubiano (2021) concluye que el sensor MG-811 es seleccionado como la mejor alternativa debido a su bajo costo en comparación con los demás dispositivos y por su alta sensibilidad al CO₂, llegando a determinar concentraciones de 396 ppm a 416 ppm en los almacenes de las unidades tecnológicas de la universidad de Santander, mientras que en el presente investigación se obtuvo concentraciones de 349 ppm a 910 ppm con el sensor MQ-135 por tráfico vehicular, observando una variabilidad en las concentraciones debido a espacios con menor y mayor presencia de contaminantes.

Mientras que Tarapués concluye que los modelos matemáticos como el IVE (Modelo Internacional de Emisiones Vehiculares), es el modelo adecuado para el estudio de estimación de emisiones generadas por autobuses urbanos en la ciudad de Ibarra, similarmente mediante modelo matemático de contaminación URATA (2005), utilizado en la presente investigación permite estimar diversos contaminantes de aire.

CONCLUSIONES

1. Se ha comprobado que el modelo de contaminación utilizado y desarrollado determina el nivel de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023.
2. Se ha determinado la contaminación del aire por tráfico vehicular como se muestra en las figuras 26, 27, 28 y 29 a partir de la solución de la ecuación de contaminación y que influirá en la degradación o destrucción del nicho ecológico.
3. Los valores ponderados bordean entre los 349 a 910 ppm, en esta región del área 1, según la tabla 1 el nivel de CO₂ determina una concentración atmosférica típica. Mientras que en el área 3 bordean entre 350 a 600 ppm el nivel de CO₂ determina también una concentración atmosférica típica. Seguidamente en el área 2, 350 a 690 ppm, en esta región, según la tabla 1 el nivel de CO₂ determina una concentración atmosférica típica. Los valores obtenidos en las gráficas 29 y 30 se aprecia el patrón de comportamiento de la calidad de aire obtenidas mediante los controladores de monitoreo ambiental. Se muestra los parámetros de temperatura, humedad relativa y CO₂ en la que están plasmadas sus resultados máximos y mínimos para cada parámetro. Para la temperatura un máximo de 28,30°C y un mínimo de 24,70°C, para la humedad un máximo de 43,70 % y un mínimo de 35,70 %, para el CO₂ un máximo de 515 ppm y un mínimo de 346 ppm por lo que el comportamiento de la calidad del aire es representativo.
4. A partir del análisis de los niveles o escalas de contaminantes, se estableció las escalas o niveles de contaminación del aire por tráfico vehicular en base a un controlador de calidad de aire, implementando un método de control PI que funciona de manera adecuada como un actuador que genera un ruido de aviso, para así alertar a la población y conductores sobre la variación alta de la concentración de contaminante producido por la alta congestión vehicular señalado en el algoritmo del ANEXO II. Este sistema es un prototipo importante donde podrían ser implementando en las calles de huamanga conjuntamente con las municipalidades y así preservar un buen medio ambiente y garantizar la salud de las personas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la implementación de un plan de ingeniería usando estos controladores de contaminantes que permita utilizar filtros que purifique el aire en las calles de huamanga de mayor concentración de vehículos.
2. Se recomienda también analizar el modelo predictivo para monitoreo, usar el control predictivo relacionado con los modelos de contaminantes.
3. A las autoridades competentes tanto el ámbito regional y local, tener en cuenta como referencia los resultados de esta investigación para regular políticas ambientales sobre la emisión de dióxido de carbono (CO₂) por vehículos de tal manera que se garantice una buena calidad del aire.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, L. C., Meneses, A. O., Torres, S. R., Espinoza, A. T., y Flores, J. A. R. (2018). Mejorando la Circulación de Vehículos: Simulación con Semáforos Inteligentes - Improving Traffic: Simulation with Smart Traffic Lights. AMCIS 2018 Proceedings. Recuperado de <https://aisel.aisnet.org/amcis2018/LACAIS/Presentations/13>.
- Aguirre Sanchez, J. M. (2021). Determinación de la concentración de monóxido de carbono en zonas de alta congestión vehicular en el distrito de Ilo, 2019.
- Arzapalo Camarena, R. (2021), Estudio del tráfico vehicular y solución integral para el mejoramiento del transporte en el centro histórico del distrito de Ayacucho, 2021"
- Arenas, J.A. (2000) "Diccionario Técnico y Jurídico del Medio Ambiente". Ed. McGraw–Hill. Madrid, España.
- ASTRÖM, K. J., & HÄGGLUND, T. Pid Controllers: theory, design, and tuning. Instrument Society of America Research Triangle Park, NC, v. 2, 1995.
- Atencio Cornelio, S. J. (2023). Evaluación de CO2 en los ambientes de estudio del nivel primario del Colegio Editum Huancayo, enfocado a la prevención y control de riesgo de exposición a SARS-COV-2 en la actualidad 2023.
- Ballesteros Higuera, F. A. (2021). Implementación de una red de sensores inalámbricos para el monitoreo de la calidad del aire.
- Beaufort, 2024, Wind Ratings the Beaufort Scale, <https://basilbangs.com/blogs/journal/wind-testing-the-beaufort-scale>
- Bernard SM, Samet JM, Grambsch A, Ebi KL; Romieu I. (2001) The potential impacts of climate variability and change on air pollution related health effects in the United States. Environ Health Perspect. ;109 Suppl 2:199-209.
- 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.

- Chavez Bonifacio, A. (2016). MODELO MATEMÁTICO PARA DETERMINAR LA CONCENTRACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO EMITIDO POR LOS VEHÍCULOS QUE TRANSITAN POR LA INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS FRANCISCO BOLOGNESI Y GUSTAVO PINTO, TACNA-2014.
- Cobo O, A. (2019). Modelamiento matemático de la dispersión de dióxido de azufre en la ciudad de Huaraz.
- De Pablo Gozalo, V. (2020). Diseño e implementación de un sistema portátil de medida de emisiones de CO₂.
- DE VASCONCELLOS, A. P. M. Projeto de Controladores PI e PID para um Forno Aquecedor de Óleo de Uma Planta de Tratamento de Hidrocarbonetos. (Trabalho de Conclusão de Curso). Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2017.
- Cobo O, A. (2019). Modelamiento matemático de la dispersión de dióxido de azufre en la ciudad de Huaraz.
- Emov, D., 2013. Informe de Calidad AIRE. Cuenca-Ecuador. Red Metropolitana de Monitoreo Atmosférico de Quito (REMMAQ).
- EPA, 2006 environmental protection agency. Support Center for Regulatory atmospheric Modeling (scram).
- DIGESA. Protocolo de monitoreo de la calidad de la aire y gestión de los datos (2005). Dirección general de salud ambiental.
- Flórez-Martínez, C.M. Duran-Acevedo, J.K. Carrillo-Gómez, "Análisis de volátiles en el proceso de fermentado de cacao, mediante una nariz electrónica para el control de calidad del producto en Norte de Santander-Cúcuta". Respuestas, vol. 25, no. 2, pp. 133-146, 2020.

- Galarza & Lara, G. L. (2020). Sistema de detección de niveles de dióxido de carbono (CO₂) dentro de la cabina simulada de un vehículo utilizando comunicación LoRaWAN.
- Gómez, J. J. (2001, June). Vulnerabilidad y medio ambiente. In International Seminar Las Diferentes Expresiones de la Vulnerabilidad Social en América Latina y el Caribe, CEPAL, Santiago de Chile.
- Gualpa, M & Célleri, R (2013), Efecto de la estimación de la presión atmosférica sobre el cálculo de niveles de agua y caudales, aqua-lac. 2013, vol.5, no 2, p.56-68.
- Guatapy Yachimba, A. M. (2022). Diseño e implementación de un prototipo para un sistema de medición, análisis y purificador de gases contaminantes en el aire utilizando Arduino y Ubidots IoT.
- Int-1, 2020, MQ-135 Gas Sensor Technical Data Sheet, <https://datasheet4u.com/datasheetpdf/Hanwei/MQ-135/pdf.php?id=605076>
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática (2008). Banco de Información Distrital. 11 de abril 2008.
- Karl J. Astrom and Richards M. Murray (2008). Feedback Systems: An introduction for Scientists and Engineers Princeton University press ISBN0691135762.
- Luna, Talavera, Cano, (2017), Uso de sensores electroquímicos de bajo costo para el monitoreo de la calidad del aire en el distrito de San Isidro - Lima - Perú, pp.16
- Marin Ayala, D. (2020). MODELO MATEMÁTICO PARA ESTIMAR EL IMPACTO AMBIENTAL DE LA EMISIÓN DE GASES CONTAMINANTES EN LA CIUDAD DE EL ALTO.
- Massolo. (2018). MODELOS DE DISPERSIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE CONTAMINANTES EN EL AMBIENTE.
- Medina De la Cruz, M.R. (2020). Diseño e implementación de un dispositivo de Internet de las cosas para la medición y monitoreo de la calidad de aire en zonas urbanas.

- Moreno JM (coordinador). (2005) Principales conclusiones de la evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Madrid: Secretaría General para la prevención de la contaminación ambiental y del cambio climático.
- NARSTO (2000). An assessment of tropospheric ozone pollution. A North American perspective North American research strategy for Tropospheric Ozone.
- Narvaez, K.S. & Contreras Pérez, V. A. (2020). Diseño y desarrollo de un prototipo de red de sensores IOT utilizando tecnología LoRaWAN para el monitoreo de parámetros ambientales en interiores y exteriores. Tesis, pp. 121
- Patz JA (2000). The Potential Health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the U.S National Assessment. *Environ Health Perspect*; 108 (4): 367-76.
- Perez Ordoñez, R. E. (2021). Sistema de detección de niveles de dióxido de carbono (CO₂) dentro de la cabina simulada de un vehículo utilizando comunicación LoRaWAN, 2020.
- Rodríguez A.J.P (2018) Desarrollo de un sistema Meteorológico en la Red de tres nodos
- Repetto, M; Repetto, G. (2009) Toxicología Fundamental. 4ta. Edición. Días de Santos
- Ruiz, M. A. (2011). Determinación de niveles de contaminación por monóxido de carbono en trabajadoras de tortillerías a base de leña de la Ciudad de Guatemala. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_3188.pdf
- Rubiano Rondón, L. A. (2021). Desarrollo de un sistema de monitoreo de CO₂ para el control de basuras de las Unidades Tecnológicas de Santander.
- Sai, K. B. K., Subbareddy, S. R., & Luhach, A. K. (2019). IOT based air quality monitoring system using MQ-135 and MQ7 with machine learning analysis. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 20(4), 599-606.

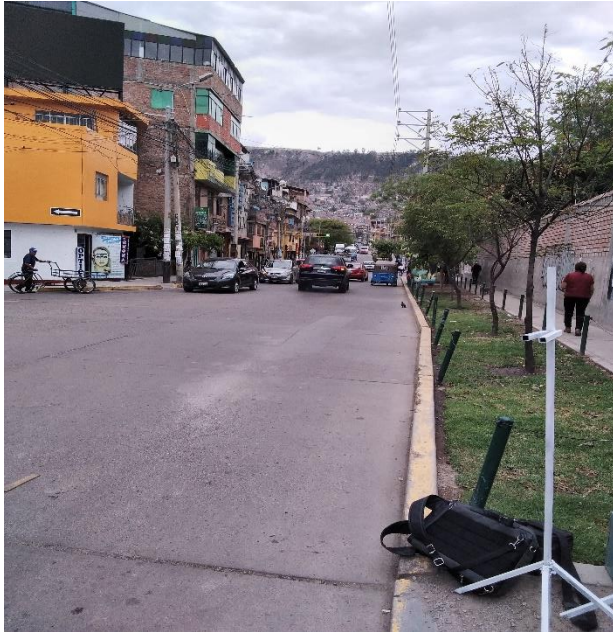
- Soldispa Villegas J. T. (2020), ANÁLISIS DE NIVELES MUY ALTOS DE CO₂ EN LAS AULAS DE CLASES MEDIANTE EL SENSOR MQ-135, tesis, universidad de guayaquil facultad de ingeniería industrial, p, 62.
- Tarapués Cadena, B. E. (2019). MODELACIÓN DE EMISIONES CONTAMINANTES Y GASES DE EFECTO INVERNADERO DE AUTOBUSES URBANOS DE LA CIUDAD DE IBARRA.
- URATA, E. (2005). Notes on Contamination Control. In Proceedings of the JFPS International Symposium on Fluid Power (Vol. 2005, No. 6, pp. 629-634). The Japan Fluid Power System Society.
- Vargas Marcos, F. (2005). La contaminación ambiental como factor determinante de la salud. Revista española de salud pública, 79, 1117-127.
- Vaisala: Cómo medir el dióxido de carbono, v. 1, 2019.
- Whiteman, D., 2000. Mountain Meteorology, Fundamentals and Applications. Oxford University Press. New York, USA, 450 p

ANEXOS

Anexo I. FOTOGRAFÍAS DE TRABAJO DE CAMPO

FOTOGRAFÍA N°01

MONITOREO DE ZONAS CONGESTIONADAS, JIRÓN QUINUA, CON JIRÓN ASAMBLEA (RESIDENCIA UNIVERSITARIA)



FOTOGRAFÍA N°02

RESULTADOS MONITOREO DE ZONAS CONGESTIONADAS, JIRÓN QUINUA, CON JIRÓN ASAMBLEA (RESIDENCIA UNIVERSITARIA)



FOTOGRAFÍA N°03
MONITOREO EX GUMANPOMA DE AYALA



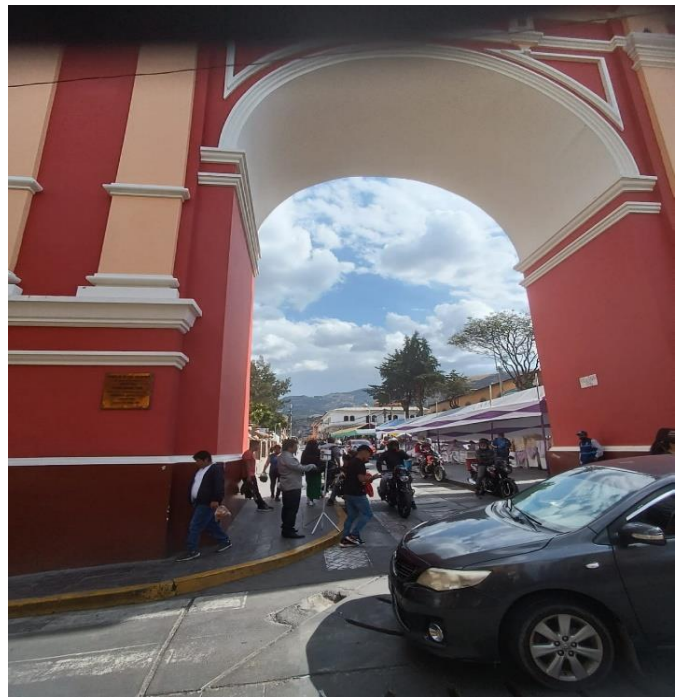
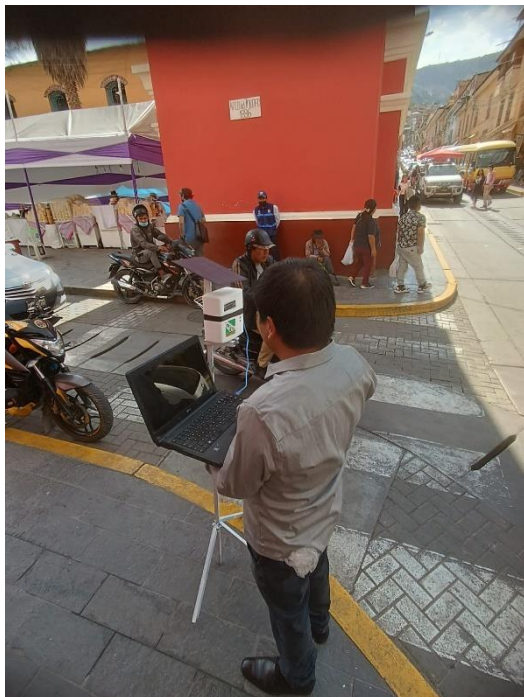
FOTOGRAFÍA N°04

MONITOREO SERCA AL MERCADO CENTRAL, CARLOS F VIVANCO



FOTOGRAFÍA N°05

MONITOREO POR EL MERCADO CENTRAL, MEMORIA EL ARCO



Anexo II. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN

II.1 ALGORITMO SIN FILTRO

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

#define mensaje_lcd(cadena, fila, columna, acero) { if(acero) { lcd.clear(); }
lcd.setCursor(fila, columna); lcd.print(cadena); }

#define a 5.2735 //factor de escala, obtenido de valores medidos de forma objetiva por
otros autores en una regresión exponencial

#define b -0.3503 //exponente, obtenido de valores medidos de forma objetiva por otros
autores en una regresión exponencial

#define minRsRo 0.358

#define maxRsRo 2.428

#define RL 20000 //Resistencia de carga de 10kohm a 47 kohm, en nuestro datasheet
es de 20kohm

#define TIEMPOSEG 600 //10 minutos para establecer el valor medio de R0 en la
calibración

#define ANALOG_PIN A0

float ppmprom=0;

float R0 = 789873.12; //valor tras recalibrado el 6 de enero 2021

float RS; //Resistencia del sensor MQ135 variable con un RI de 20 Kohmios

float co2=0;

void setup() {

    lcd.init();

    lcd.begin(16,2);

    lcd.backlight();

    mensaje_lcd(F("Medicion co2"),0,0,1);

    mensaje_lcd(F("Hola!"),0,1,0);
```

```

delay(2000);
delay(2000);
  mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,1);
Serial.begin(9600);
Serial.print(F("Resistencia de carga: "));
Serial.println(RL);
  Serial.print(F("Resistencia constante por defecto (si no hay que calibrar: "));
  Serial.println(R0);
Serial.print(F("Empezando calibración.. "));
  mensaje_lcd(F("Inicializando.."),0,1,0);
  delay(30000); //aunque este calibrado y precalentado, se recomienda aguardar 30
segundos después de estar apagado
delay(1000);
mensaje_lcd(F("co2:"),0,1,1);
}
void loop() {
  if(millis() % 300 == 0){
    mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,1);
  }

  mensaje_lcd(F("ppm"),13,0,0);
  mensaje_lcd(F("t(h):"),0,1,0);
  mensaje_lcd(millis()/3600000,5,1,0);
  mensaje_lcd(F("adc:"),8,1,0);
  firststep();
}

```

```

void firststep(){
    int VALOR,gasval;
    float voltaje;
    VALOR = analogRead(ANALOG_PIN);
    voltaje = VALOR * (5.0 / 1023.0);
    Serial.print("ADC: ");
    Serial.print(VALOR);
    mensaje_lcd(VALOR,12,1,0);
    Serial.print(" Voltaje: ");
    Serial.print(voltaje);
    gasval= map(VALOR, 0, 1023, 0, 100);
    Serial.print(" GASVAL %: ");
    Serial.println(gasval);
    delay(2000);
    RS = RL*(5.0-voltaje)/voltaje; //Resistencia medida del sensor
    co2 = pow((RS/R0)/a,1/b); //calculamos la concentración de los gases con la ecuación
    obtenida
    Serial.print(F("CO2: "));
    Serial.println(co2);
    if(co2 < 600){
        digitalWrite(pin8,HIGH);
    }
    else{
        digitalWrite(pin8,LOW);
    }
}
}

```

II.2 ALGORITMO CON FILTRO

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);

#define mensaje_lcd(cadena, fila, columna, acero) { if(acero) { lcd.clear(); }
lcd.setCursor(fila, columna); lcd.print(cadena); }

#define a 5.2735 //factor de escala, obtenido de valores medidos de forma objetiva por
otros autores en una regresión exponencial

#define b -0.3503 //exponente, obtenido de valores medidos de forma objetiva por otros
autores en una regresión exponencial

#define minRsRo 0.358

#define maxRsRo 2.428

#define RL 20000 //Resistencia de carga de 10kohm a 47 kohm, en nuestro datasheet
es de 20kohm

#define TIEMPOSEG 600 //10 minutos para establecer el valor medio de R0 en la
calibración

#define ANALOG_PIN A0

float ppmprom=0;

float R0 = 789873.12; //valor tras recalibrado el 6 de enero 2021

void setup() {

    lcd.init();

    lcd.begin(16,2);

    lcd.backlight();

    mensaje_lcd(F("Medicion co2"),0,0,1);

    mensaje_lcd(F("Hola!"),0,1,0);
```

```

delay(2000);
delay(2000);
  mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,1);
Serial.begin(9600);
Serial.print(F("Resistencia de carga: "))
Serial.println(RL);
  Serial.print(F("Resistencia constante por defecto (si no hay que calibrar: "));
  Serial.println(R0);
Serial.print(F("Empezando calibración.. "));
  mensaje_lcd(F("Inicializando.."),0,1,0);
  delay(30000); //aunque este calibrado y precalentado, se recomienda aguardar 30
segundos después de estar apagado
delay(1000);
mensaje_lcd(F("co2:"),0,1,1);
}
void loop() {
  if(millis() % 300 == 0){
    mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,1);
  }
  ppmprom =promediolectura(R0);

  if (ppmprom != 0){
    mensaje_lcd(promediolectura(R0),5,0,0);
    mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,0);
  }
  else{ //FUERA DE RANGO
    mensaje_lcd("indef",5,0,1);
  }
}

```

```

    mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,0);
}
mensaje_lcd(F("ppm"),13,0,0);
mensaje_lcd(F("t(h):"),0,1,0);
mensaje_lcd(millis()/3600000,5,1,0);
    mensaje_lcd(F("adc:"),8,1,0);
firststep();

}

void firststep(){
    int VALOR,gasval;
    float voltaje;
    VALOR = analogRead(ANALOG_PIN);
    voltaje = VALOR * (5.0 / 1023.0);
    Serial.print("ADC: ");
    Serial.print(VALOR);
    mensaje_lcd(VALOR,12,1,0);
    Serial.print(" Voltaje: ");
    Serial.print(voltaje);
    gasval= map(VALOR, 0, 1023, 0, 100);
    Serial.print(" GASVAL %: ");
    Serial.println(gasval);
    delay(2000);
}

float mediumvalue_ADC(){

```

```

int VALOR, SumaValor;

float Valor_Medio;

  for(byte i=0;i<5;i++){

  VALOR = analogRead(ANALOG_PIN);

  SumaValor = SumaValor+ VALOR;

  delay(1000);

  }

  Valor_Medio = (float) SumaValor/5.0;

  return Valor_Medio;

}

float promediolectura(float R0){

float Valor_Medio; //lectura de salida analógica del sensor MQ135

float SumaValor=0; //suma correspondiente a 5 lectuas

float VOLTAJE; //Conversión de la lectura a un valor de voltaje

float RS; //Resistencia del sensor MQ135 variable con un RI de 20 Kohmios

float co2=0; //Concentración de dióxido de carbono calculada con la ecuación obtenida

Valor_Medio = mediumvalue_ADC();

  Serial.print(F("Valor medio analógico A0 cada 5 segundos: "));

  Serial.println(Valor_Medio);

VOLTAJE = Valor_Medio * (5.0 /1023.0); //conversión de la lectura en un valor de tensión

Serial.print(F("VOLTAJE: "));

Serial.println(VOLTAJE);

Serial.print(F("RESISTENCIA DE CARGA, RL: "));

Serial.println(RL);

RS = RL*(5.0-VOLTAJE)/VOLTAJE; //Resistencia medida del sensor

Serial.print(F("RESISTENCIA VARIABLE MEDIDA DEL SENSOR (RS): "));

Serial.println(RS);

```

```

Serial.print(F("CALIBRADO DE R0 - Resistencia constante: "));
Serial.println(R0);
float rSrO = (float)RS / (float)R0;
Serial.print("Rs/Ro: ");
Serial.println(rSrO);
if(rSrO < maxRsRo && rSrO > minRsRo) {

co2 = pow((RS/R0)/a,1/b); //calculamos la concentración de los gases con la ecuación
obtenida
Serial.print(F("CO2: "));
Serial.println(co2);
}
else{
Serial.print("Rs/Ro FUERA DE RANGO");
}
return co2;
}

float calibracionR0(){
int VALOR,ppm_CO2_actual;
float RSValor_Medio;
float SumaValor=0;
float VOLTAJE;
float RS;
SumaValor=0;
Serial.println(F("PROCESO DE CALIBRACIÓN....segundos restantes: "));
Serial.println(TIEMPOSEG);
mensaje_lcd("Calibrando...",1,1,0);

```

```

for(int j=0;j<TIEMPOSEG;j++){
    VALOR = analogRead(ANALOG_PIN);
    RS = ((float)RL*1023/(float)VALOR) - (float) RL;
    SumaValor=RS+SumaValor;

    Serial.print(TIEMPOSEG-j);

    Serial.print(" adc: ");
    Serial.print(VALOR);
    Serial.print(" (1023/VALOR):" );
    Serial.print(1023/VALOR);
    Serial.print(" RL*(1023/VALOR):" );
    Serial.print(float(RL*(1023/(float)VALOR)));
    Serial.print(" RL: ");
    Serial.print(RL);
    Serial.print(" RS: ");
    Serial.print(RS);
    Serial.print(" Suma RS: ");
    Serial.print(SumaValor);

    Serial.println(" ... ");
    delay(1000);
}
Serial.print(F("RS VALOR MEDIO: "));
RSValor_Medio = (float) SumaValor/TIEMPOSEG;
Serial.println((float) RSValor_Medio);
delay(1000);

```

```

ppm_CO2_actual = 400; //este valor se obtiene de
https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/#mlo
R0 = (float) RSVvalor_Medio/(a*pow(ppm_CO2_actual,b)); //R0 calibrado
Serial.print(F("R0 CALIBRADO: "));
Serial.println(R0);
Serial.println(F("FIN DEL PROCESO DE CALIBRACIÓN R0"));
mensaje_lcd(" Calibrado",1,1,0);
delay(2000);
mensaje_lcd("",1,1,1);
mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,1);
return R0;
}

```

II.3 ALGORITMO CON CONTROL DE ESCALAS O REGULADOR

```

#include #include<LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);
#define mensaje_lcd(cadena,fila,columna,acero){ if(acero){ lcd.clear();}
lcd.setCursor(fila,columna); lcd.print(cadena); }
#define a 5.2735 //factor de escala, obtenido de valores medidos de forma objetiva por
otros autores en una regresión exponencial
#define b -0.3503 //exponente, obtenido de valores medidos de forma objetiva por otros
autores en una regresión exponencial
#define minRsRo 0.358
#define maxRsRo 2.428
#define RL 20000 //Resistencia de carga de 10kohm a 47 kohm, en nuestro datasheet
es de 20kohm
#define TIEMPOSEG 600 //10 minutos para establecer el valor medio de R0 en la
calibración

```

```

#define ANALOG_PIN A0

float ppmprom=0;

float R0 = 789873.12; //valor tras recalibrado el 6 de enero 2021

float RS; //Resistencia del sensor MQ135 variable con un RI de 20 Kohmios

float co2=0;

int escala1=2; // alarma 01

int escala2=3; //alarma 02

int escala3=4; //alarma 03

void setup() {

    lcd.init();

    lcd.begin(16,2);

    lcd.backlight();

    mensaje_lcd(F("Medicion co2"),0,0,1);

    mensaje_lcd(F("Hola!"),0,1,0);

    delay(2000);

    delay(2000);

    mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,1);

    Serial.begin(9600);

    Serial.print(F("Resistencia de carga: "));

    Serial.println(RL);

    Serial.print(F("Resistencia constante por defecto (si no hay que calibrar): "));

    Serial.println(R0);

    Serial.print(F("Empezando calibración.. "));

    mensaje_lcd(F("Inicializando.."),0,1,0);

    delay(30000); //aunque este calibrado y precalentado, se recomienda aguardar 30
segundos después de estar apagado

    delay(1000);

```

```

mensaje_lcd(F("co2:"),0,1,1);
}

void loop() {

    if(millis() % 300 == 0){
        mensaje_lcd(F("Co2: "),0,0,1);
    }
    mensaje_lcd(F("ppm"),13,0,0);
    mensaje_lcd(F("t(h):"),0,1,0);
    mensaje_lcd(millis()/3600000,5,1,0);
    mensaje_lcd(F("adc:"),8,1,0);
    firststep();

}

void firststep(){
    int VALOR,gasval;
    float voltaje;
    VALOR = analogRead(ANALOG_PIN);
    voltaje = VALOR * (5.0 / 1023.0);
    Serial.print("ADC: ");
    Serial.print(VALOR);
    mensaje_lcd(VALOR,12,1,0);
    Serial.print(" Voltaje: ");
    Serial.print(voltaje);
    gasval= map(VALOR, 0, 1023, 0, 100);
}

```

```

Serial.print(" GASVAL %: ");
Serial.println(gasval);
delay(2000);
RS = RL*(5.0-voltaje)/voltaje; //Resistencia medida del sensor
co2 = pow((RS/R0)/a,1/b); //calculamos la concentración de los gases con la ecuación
obtenida
Serial.print(F("CO2: "));
Serial.println(co2);
//-----control de escalas-----

if(co2 < 400){
  digitalWrite(escala1,HIGH);
}
else{
  digitalWrite(escala1,LOW);
}

if(co2 < 800){
  digitalWrite(escala2,HIGH);
}
else{
  digitalWrite(escala2,LOW);
}

if(co2 < 800){
  digitalWrite(escala3,HIGH);
}
else{

```

```
digitalWrite(escala3,LOW);
```

```
}
```

```
}
```

Anexo III. DATA DE CONCENTRACIÓN DE CO₂

CONCENTRACIÓN DE CO₂ DEL ÁREA 3 MERCADO CENTRAL CON MEMORIA DEL ARCO (JR. CARLOS F. VIVANCO)

CO2:	533.24	CO2:	500.32	CO2:	735.74	CO2:	411.11
CO2:	377.87	CO2:	411.11	CO2:	585.84	CO2:	411.11
CO2:	567.87	CO2:	476.71	CO2:	613.65	CO2:	567.87
CO2:	567.87	CO2:	377.87	CO2:	632.77	CO2:	508.4
CO2:	567.87	CO2:	352.83	CO2:	735.74	CO2:	425.04
CO2:	432.13	CO2:	533.24	CO2:	585.84	CO2:	533.24
CO2:	476.71	CO2:	500.32	CO2:	585.84	CO2:	352.83
CO2:	508.4	CO2:	346.77	CO2:	613.65	CO2:	508.4
CO2:	418.03	CO2:	352.83	CO2:	642.51	CO2:	567.87
CO2:	567.87	CO2:	352.83	CO2:	693.04	CO2:	377.87
CO2:	377.87	CO2:	500.32	CO2:	550.34	CO2:	425.04
CO2:	439.32	CO2:	397.55	CO2:	615.58	CO2:	439.32
CO2:	508.4	CO2:	346.77	CO2:	524.87	CO2:	377.87
CO2:	411.11	CO2:	397.55	CO2:	672.46	CO2:	508.4
CO2:	533.24	CO2:	397.55	CO2:	585.84	CO2:	533.24

CONCENTRACIÓN DE CO₂ DEL ÁREA 2 JR. EX-GUAMAN POMA DE AYALA CON AV. INDEPENDENCIA

CO2:	346.77	CO2:	476.71	CO2:	613.65	CO2:	411.11
CO2:	397.55	CO2:	329.09	CO2:	652.37	CO2:	411.11
CO2:	500.32	CO2:	346.77	CO2:	652.37	CO2:	377.87
CO2:	508.4	CO2:	453.99	CO2:	652.37	CO2:	377.87
CO2:	377.87	CO2:	476.71	CO2:	432.13	CO2:	371.48
CO2:	476.71	CO2:	377.87	CO2:	484.48	CO2:	377.87
CO2:	377.87	CO2:	533.24	CO2:	453.99	CO2:	446.61
CO2:	346.77	CO2:	500.32	CO2:	476.71	CO2:	397.55
CO2:	404.29	CO2:	425.04	CO2:	432.13	CO2:	533.24
CO2:	476.71	CO2:	567.87	CO2:	692.35	CO2:	377.87
CO2:	476.71	CO2:	469.04	CO2:	492.35	CO2:	476.71
CO2:	352.83	CO2:	476.71	CO2:	461.47	CO2:	439.32
CO2:	476.71	CO2:	567.87	CO2:	652.37	CO2:	476.71
CO2:	418.03	CO2:	425.04	CO2:	604.27	CO2:	567.87
CO2:	567.87	CO2:	476.71	CO2:	541.74	CO2:	425.04
CO2:	500.32	CO2:	492.35	CO2:	567.87	CO2:	453.99

CONCENTRACIÓN DE CO₂ DEL ÁREA 1 JR. QUINUA CON JR. ASAMBELA (RESIDENCIA UNIVERSITARIA)

CO2:	439.32	CO2:	500.32	CO2:	492.35	CO2:	613.65
CO2:	500.32	CO2:	432.13	CO2:	453.99	CO2:	484.48
CO2:	411.11	CO2:	576.8	CO2:	604.27	CO2:	652.37

CO2:	432.13	CO2:	425.04	CO2:	461.47	CO2:	492.35
CO2:	476.71	CO2:	604.27	CO2:	453.99	CO2:	652.37
CO2:	476.71	CO2:	533.24	CO2:	652.37	CO2:	492.35
CO2:	541.74	CO2:	780.54	CO2:	541.74	CO2:	652.37
CO2:	567.87	CO2:	780.54	CO2:	533.24	CO2:	461.47
CO2:	576.8	CO2:	928.51	CO2:	533.24	CO2:	613.65
CO2:	439.32	CO2:	703.52	CO2:	492.35	CO2:	453.99
CO2:	567.87	CO2:	714.13	CO2:	500.32	CO2:	550.34
CO2:	476.71	CO2:	703.52	CO2:	453.99	CO2:	453.99
CO2:	576.8	CO2:	876.84	CO2:	533.24	CO2:	652.37
CO2:	425.04	CO2:	864.3	CO2:	541.74	CO2:	642.51
CO2:	453.99	CO2:	864.3	CO2:	425.04	CO2:	642.51
CO2:	567.87	CO2:	682.69	CO2:	476.71	CO2:	453.99
CO2:	397.55	CO2:	864.3	CO2:	439.32	CO2:	453.99
CO2:	453.99						

ANEXO

Anexo IV. Resolución ministerial de Salud MINSa

MINISTERIO DE SALUD

No. 675-2022/MINSA



Resolución Ministerial

Lima, 2 de SEPTIEMBRE del 2022

Visto; el Expediente N° UFETP020220000016, que contiene la Nota Informativa N° D000108-2022-DGIESP-MINSA y el Informe N° D000006-2022-UFETPMINSA, emitidos por la Dirección General de Intervenciones Estratégicas en Salud Pública del Ministerio de Salud;

CONSIDERANDO:

Que, los numerales I y II del Título Preliminar de la Ley N° 26842, Ley General de Salud, disponen que la Salud es condición indispensable del desarrollo humano y medio fundamental para alcanzar el bienestar individual y colectivo, y que la protección de la salud es de interés público, siendo responsabilidad del Estado regularla, vigilarla y promoverla;

Que, el numeral 1 del artículo 3 del Decreto Legislativo N° 1161, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, establece que el Ministerio de Salud es competente en salud de las personas; y su artículo 4 dispone que el Sector Salud está conformado por el Ministerio de Salud, como organismo rector, las entidades adscritas a él y aquellas instituciones públicas y privadas de nivel nacional, regional y local, y personas naturales que realizan actividades vinculadas a las competencias establecidas en dicha Ley, y que tienen impacto directo o indirecto en la salud, individual o colectiva;

Que, el artículo 4-A del citado Decreto Legislativo, modificado por el Decreto Legislativo N° 1504, Decreto Legislativo que fortalece al Instituto Nacional de Salud para la Prevención y Control de Enfermedades, señala que la potestad rectora del Ministerio de Salud comprende la facultad que tiene para normar, supervisar, fiscalizar y, cuando corresponda, sancionar, en los ámbitos que comprenden la materia de salud. La rectoría en materia de salud dentro del sector la ejerce el Ministerio de Salud por cuenta propia o, por delegación expresa, a través de sus organismos públicos adscritos y, dentro del marco y los límites establecidos en la presente ley, la Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, las normas sustantivas que regulan la actividad sectorial y, las normas que rigen el proceso de descentralización;

Que, los literales b) y h) del artículo 5 del Decreto Legislativo N° 1161, modificado por el Decreto Legislativo N° 1504, señalan que son funciones rectoras del Ministerio de Salud, formular, planear, dirigir, coordinar, ejecutar, supervisar y evaluar la política



nacional y sectorial de promoción de la salud, prevención y control de enfermedades, recuperación, rehabilitación en salud, tecnologías en salud y buenas prácticas en salud, bajo su competencia, aplicable a todos los niveles de gobierno; así como, dictar normas y lineamientos técnicos para la adecuada ejecución y supervisión de la política nacional y políticas sectoriales de salud, entre otros;

Que, con Decreto Supremo N° 008-2020-SA, se declara la emergencia sanitaria a nivel nacional por el plazo de noventa (90) días calendario y se dictan medidas para la prevención y control para evitar la propagación del COVID-19, la misma que fue prorrogada por los Decretos Supremos N°s 020-2020-SA, 027-2020-SA, 031-2020-SA, 009-2021-SA, 025-2021-SA, 003-2022-SA y 015-2022-SA, hasta el 24 de febrero de 2023;

Que, por Decreto Supremo N° 016-2022-PCM, Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las circunstancias que afectan la vida y salud de las personas como consecuencia de la COVID-19 y establece nuevas medidas para el restablecimiento de la convivencia social, se declara el Estado de Emergencia Nacional por el plazo de treinta y dos (32) días calendario, quedando restringido el ejercicio de los derechos constitucionales relativos a la libertad y la seguridad personales, la inviolabilidad del domicilio, y la libertad de reunión y de tránsito en el territorio, comprendidos en los incisos 9, 11 y 12 del artículo 2 y en el inciso 24, apartado f) del mismo artículo de la Constitución Política del Perú; el mismo que fue prorrogado por Decreto Supremo N° 030-2022-PCM, Decreto Supremo N° 041-2022-PCM, Decreto Supremo N° 058-2022-PCM, Decreto Supremo N° 076-2022-PCM, Decreto Supremo N° 092-2022-PCM y Decreto Supremo N° 108-2022-PCM, por el plazo de treinta y tres (33) días calendario, a partir del 29 de agosto de 2022, por las graves circunstancias que afectan la vida y salud de las personas como consecuencia de la COVID-19;

Que, de otro lado, el artículo 63 del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, aprobado por Decreto Supremo N° 008-2017-SA, modificado por el Decreto Supremo N° 011-2017-SA, establece que, la Dirección General de Intervenciones Estratégicas en Salud Pública es el órgano de línea del Ministerio de Salud, dependiente del Viceministerio de Salud Pública, competente para dirigir y coordinar las intervenciones estratégicas de Salud Pública en materia de Salud Mental, Prevención y Control de Discapacidad, Salud Sexual y Reproductiva, Prevención y Control de Enfermedades No Transmisibles, Raras y Huérfanas, Prevención y Control del Cáncer, Inmunizaciones, Salud Bucal, Prevención y Control de Enfermedades Metaxénicas y Zoonosis, Prevención y Control de VIH- SIDA, Enfermedades de Transmisión Sexual y Hepatitis, Prevención y Control de la Tuberculosis, Intervenciones por curso de vida y ciudadano integral, Promoción de la Salud; y Pueblos Indígenas u originarios;

Que, con los documentos del visto, la Dirección General de Intervenciones Estratégicas en Salud Pública, propone modificar la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DGIESP-2021, Directiva Administrativa que establece las disposiciones para la vigilancia, prevención y control de la salud de los trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2, aprobada por Resolución Ministerial N° 1275-2021/MINSA, a fin de concordar las disposiciones de dicha directiva con el marco normativo vigente;

Con el visado del Director General de la Dirección General de Intervenciones Estratégicas en Salud Pública, del Director General de la Oficina General de Asesoría Jurídica y del Viceministro de Salud Pública; y,





Resolución Ministerial

Lima, 2... de SEPTIEMBRE del 2022



De conformidad con lo dispuesto en el Decreto Legislativo N° 1161, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, y modificatorias; y el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, aprobado por Decreto Supremo N° 008-2017-SA, y modificatorias;

SE RESUELVE:

Artículo 1.- Modificación de la Directiva Administrativa

Modificar la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DGIESP-2021, Directiva Administrativa que establece las disposiciones para la vigilancia, prevención y control de la salud de los trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2, aprobada por Resolución Ministerial N° 1275-2021/MINSA, conforme al anexo que forma parte integrante de la presente Resolución Ministerial.

Artículo 2.- Encargar a la Oficina de Transparencia y Anticorrupción de la Secretaría General, la publicación de la presente Resolución Ministerial y su respectivo anexo, en el portal institucional del Ministerio de Salud.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

JORGE ANTONIO LOPEZ PEÑA
Ministro de Salud



ANEXO

Modificación de la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DGIESP-2021, Directiva Administrativa que establece las Disposiciones para la Vigilancia, Prevención y Control de la Salud de los trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2

1. Modificar el artículo IV, el mismo que queda redactado de la siguiente manera:

"IV. BASE LEGAL

- Ley N° 26842, Ley General de Salud, y sus modificatorias.
- Ley N° 29733, Ley de protección de datos personales, y su modificatoria.
- Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, y sus modificatorias.
- Decreto Legislativo N° 1161, Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, y sus modificatorias.
- Decreto Supremo N° 005-2012-TR, que aprueba el Reglamento de la Ley N° 29783, Ley de Seguridad y Salud en el Trabajo, y sus modificatorias.
- Decreto Supremo N° 008-2017-SA, que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Salud, y sus modificatorias.
- Decreto Supremo N° 010-2020-TR, Decreto Supremo que desarrolla disposiciones para el Sector Privado, sobre el trabajo remoto previsto en el Decreto de Urgencia N° 026-2020, Decreto de Urgencia que establece medidas excepcionales y temporales para prevenir la propagación del COVID – 19, y su modificatoria.
- Decreto Supremo N° 008-2020-SA, que declara en Emergencia Sanitaria a nivel nacional por el plazo de noventa (90) días calendario y dicta medidas de prevención y control del COVID-19, y sus prórrogas.
- Decreto Supremo N° 016-2022-PCM, Decreto Supremo que declara Estado de Emergencia Nacional por las circunstancias que afectan la vida y salud de las personas como consecuencia de la COVID-19 y establece nuevas medidas para el restablecimiento de la convivencia social, sus modificatorias y prórrogas.
- Resolución Ministerial N° 312-2011/MINSA, que aprueba el Documento Técnico: Protocolos de Exámenes Médico Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos Obligatorios por Actividad, y sus modificatorias.
- Resolución Ministerial N° 506-2012-MINSA, que aprueba la Directiva Sanitaria N° 046-MINSA/DGE-V.01 que establece la Notificación de Enfermedades y Eventos Sujetos a Vigilancia Epidemiológica en Salud Pública, y su modificatoria.
- Resolución Ministerial N° 545-2012/MINSA, que aprueba la Directiva Sanitaria N° 047-MINSA/DGE-V.01: "Notificación de Brotes, Epidemias y otros eventos de importancia para la Salud Pública".



Modificación de la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DGIESP-2021.
Directiva Administrativa que establece las Disposiciones para la Vigilancia, Prevención y Control de la Salud de los trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2

- Resolución Ministerial N° 021-2016/MINSA, que aprueba el perfil de competencias del médico ocupacional.
 - Resolución Ministerial N° 055-2020-TR, que aprueba la "Guía para la prevención del Coronavirus en el ámbito laboral.
 - Resolución Ministerial N° 183-2020-MINSA, que aprueba la Directiva Sanitaria N° 287-MINSA/2020/DGIESP, Directiva Administrativa que regula los procesos, registros y accesos a la información para garantizar el seguimiento integral de los casos sospechosos y confirmados de COVID-19 (Sistema Integrado para COVID-19-SICOVID-19), y su modificatoria.
 - Resolución Ministerial N° 558-2021/MINSA que aprueba el Documento Técnico: Lineamientos para la Confección de Mascarillas Faciales Textiles de Uso Comunitario Reutilizables y su modificatoria.
 - Resolución Ministerial N° 834-2021/MINSA que aprueba el Documento Técnico: Manejo ambulatorio de personas afectadas por la COVID-19 en el Perú, y su modificatoria.
 - Resolución Ministerial N° 881-2021/MINSA, que aprueba la Directiva Sanitaria N° 135-MINSA/CDC-2021 "Directiva Sanitaria para la Vigilancia Epidemiológica de la enfermedad por coronavirus (COVID-19) en el Perú".
 - Resolución Ministerial N° 1218-2021/MINSA, que aprueba la NTS N° 178-MINSA/DGIESP-2021, Norma Técnica de Salud para la Prevención y Control de la COVID-19 en el Perú y modificatoria."
2. Modificar los sub numerales 5.1.1 y 5.1.34 del numeral 5.1 del artículo V; los mismos que quedan redactados de la siguiente manera:

V. DISPOSICIONES GENERALES

5.1 Definiciones Operativas:

5.1.1 Aislamiento en el ámbito comunitario: Es el procedimiento por el cual a una persona considerada como caso sospechoso, probable o confirmado de COVID-19, y que no requiere hospitalización, se le indica aislamiento domiciliario.

Durante el aislamiento, se le restringe el desplazamiento fuera de su vivienda o centro de aislamiento por un lapso de siete (7) días a diez (10) días, según lo establecido en la Resolución Ministerial N°834-2021/MINSA y sus modificatorias, contados a partir de la fecha de inicio de síntomas del caso.

(...)

5.1.34 Reincorporación al trabajo: Proceso de retorno a laborar cuando el trabajador, que fue diagnosticado con COVID-19, está de alta por el Médico tratante, el cual debe ser revisado por el médico del servicio de salud y seguridad en el trabajo o el que haga sus veces.

(...)"



3. Modificar el literal a) del numeral 6.1 del artículo VI, el mismo que queda redactado de la siguiente manera:

“VI. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

6.1 Disposiciones preliminares

a. Los empleadores deben garantizar un ambiente seguro de trabajo, verificando que de preferencia todos los empleados estén debidamente vacunados para la COVID-19.

(...).

4. Modificar el literal d) del numeral 6.1 del artículo VI, el mismo que queda redactado de la siguiente manera:

“VI. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

6.1 Disposiciones preliminares

(...)

d. *En todo centro laboral, a través del Servicio de Seguridad y Salud en el Trabajo en el centro de trabajo, se debe elaborar el “Plan para la vigilancia, prevención y control de la COVID-19 en el trabajo”, el mismo que debe ser remitido al Comité de Seguridad y Salud en el Trabajo o al Supervisor de Seguridad y Salud en el Trabajo, según corresponda, para su aprobación en un plazo máximo de cuarenta y ocho (48) horas a partir de su recepción.*

5. Modificar los sub numerales 6.2.1 y 6.2.4 del numeral 6.2 del artículo VI, los mismos que quedan redactados de la siguiente manera:

“VI. DISPOSICIONES ESPECÍFICAS

(...)

6.2 Disposiciones para el regreso o reincorporación al trabajo

6.2.1 Disposiciones para el regreso al trabajo

Se establece el proceso de regreso al trabajo de aquellos trabajadores que estuvieron en aislamiento social obligatorio, que no son actualmente caso sospechoso ni confirmado de COVID-19, bajo los siguientes criterios:

- *El retorno o reincorporación del personal con factores de riesgo para COVID-19, se efectuará considerando tarea, distanciamiento, ventilación y jornada laboral.*



Modificación de la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DGIESP-2021.
Directiva Administrativa que establece las Disposiciones para la Vigilancia, Prevención y Control de la Salud de los trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2

- Se recomienda que los trabajadores con vacunación incompleta o pendiente deben presentarse al servicio de seguridad y salud en el trabajo, o quien haga sus veces, para completar su esquema de vacunación y retomar al trabajo presencial, remoto o mixto de acuerdo a la necesidad de servicio.

(...)

6.2.4 Disposiciones para el regreso o reincorporación al trabajo de trabajadores con factores de riesgo para COVID-19

Para la reanudación del trabajo presencial de los trabajadores integrantes de los grupos de riesgo se debe tener en consideración lo siguiente:

- a) La información clínica disponible (antecedentes y/o informes médicos o data médica) debe ser valorada por el Médico del servicio de salud y seguridad en el trabajo o quien haga sus veces, para precisar el estado de salud y riesgo laboral individual de cada trabajador.
- b) Los trabajadores que se encuentren en alguno de los grupos de riesgo definidos por el Médico ocupacional realizan trabajo presencial, remoto o mixto de acuerdo a la necesidad del servicio."

6. Dejar sin efecto los sub numerales 5.1.33 y 5.1.38 del numeral 5.1 del artículo V.
7. Dejar sin efecto los literales h) e i) del numeral 6.1 del artículo VI.
8. Incorporar el sub numeral 6.5.7 del numeral 6.5 del artículo VI, conforme al siguiente texto:

"6.5.7 Disponer que, la definición de la valoración de la aptitud o certificado de aptitud o evaluación de la aptitud en la presente Directiva Administrativa consiste en la evaluación médica realizada por el médico del servicio de seguridad y salud en el trabajo o el que haga sus veces, en el marco de la emergencia sanitaria. Esta no se refiere a la evaluación de la aptitud laboral referida en el Documento Técnico "Protocolos de Exámenes Médicos Ocupacionales y Guías de Diagnóstico de los Exámenes Médicos Obligatorios por Actividad", aprobado con Resolución Ministerial N° 312-2011-MINSA".

9. Dejar sin efecto el Anexo N° 8.
10. Incorporar el Anexo N° 10, conforme al siguiente detalle:



A. HOLGUÍN

"ANEXO N° 10

Guía para el uso de medidores de CO₂ en ambientes de trabajo y escuelas

Los medidores portátiles de dióxido de carbono (CO₂) permiten verificar que el aire de los ambientes se renueva permanentemente a través de una ventilación adecuada.

El nivel de CO₂ indica el grado de no circulación del aire interior. Al respirar, junto con los aerosoles, las personas exhalan CO₂, por lo que la acumulación de este gas es un buen indicador de la acumulación de aerosoles que podrían transmitir la COVID-19. En este sentido, el monitoreo del CO₂ permite regular el nivel de apertura de ventanas y puertas necesario para una mantener una adecuada ventilación en un ambiente interior,

El nivel del CO₂ al aire libre se encuentra en una concentración de **400 partes por millón (ppm)**. Este nivel puede variar, en zonas urbanas con alto tránsito vehicular o presencia de industrias.

Nivel base de CO₂

El nivel de concentración de CO₂ de un ambiente sin personas, se denomina **nivel de base de CO₂**. Cuando en un ambiente interior el CO₂ aumenta en 400 partes por millón por sobre el nivel de base del ambiente, producto de la respiración de las personas que ocupan ese espacio, se estima que el 1% del aire que se respira ya fue respirado por otra persona.

El umbral de concentración de CO₂ que actualmente se recomienda como indicador de una ventilación adecuada es de 400 ppm por sobre el nivel de base.

Cuando la concentración de CO₂ se incrementa en 400 ppm por sobre la medición con la oficina o el aula vacía (medición de base o medición basal), se debe actuar para mejorar la ventilación.

Existe consenso en que es deseable que el nivel de CO₂ en escuelas, hogares, oficinas, etc. se ubique por debajo de las 1.000 ppm.

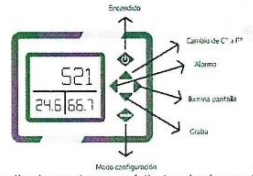
Como muestra la tabla 1, el valor de CO₂ a partir del cual se debe procurar mejorar la ventilación difiere según las condiciones iniciales (sin personas presentes). Así, por ejemplo, para un aula donde la medición de base arroje 350 ppm, el valor de alerta mientras transcurre la clase será de 750 ppm, mientras que para un aula donde la medición de base indique 650 ppm, el valor de alerta será de 1050 ppm.

No es necesario esperar a que la medición se incremente 400 ppm para actuar. La situación ideal es que durante el trabajo o la clase la medición del CO₂ se mantenga en niveles similares a los del ambiente de trabajo o el aula vacía (lo cual es posible cuando hay buena ventilación), cuando la medición muestre un aumento de 250 o 300 ppm se debe abrir más las puertas y ventanas para procurar que el valor descienda o se estabilice.

En el caso de los pasillos de circulación y otros espacios no ocupados en forma permanente, la concentración de CO₂ no se debe incrementar en más de 150/200 ppm con relación al valor que arroja el espacio exterior, para garantizar la renovación del aire que ingrese desde los pasillos a los interiores.



**Modificación de la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DGIESP-2021.
Directiva Administrativa que establece las Disposiciones para la Vigilancia, Prevención y Control de la Salud de los
trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2**



Pantalla de equipo portátil simple de medición de CO₂

Tabla N° 01 Niveles de alerta para un conjunto de oficinas u aulas ante el aumento de la concentración de dióxido de carbono por la respiración humana

	Baja temperatura	Incremento de CO ₂ con ambiente ocupado por personas (efecto de la respiración humana)					
		Medición de base (aula vacía)	100	300	375	400 (umbral de ventilación adecuada)	800
Trabajo o escuela	Oficina o aula 1	400	500	700	775	800	1200
	Oficina o aula 2	450	550	750	825	850	1250
	Oficina o aula 3	500	600	800	875	900	1300
	Oficina o aula 4	550	650	850	925	950	1350
	Oficina o aula 5	600	650	900	975	1000	1400
	Riesgo de contagio	Muy bajo		Bajo	Medio bajo	Medio alto a muy alto	

Fuente: modificado de la Guía de recomendaciones para la prevención de la transmisión de COVID-19 en la provincia de Buenos Aires

Al encender el equipo luego de un breve lapso de precalentamiento, comenzará a mostrar en pantalla los valores relativos al nivel de CO₂ y de otras variables (temperatura, porcentaje de humedad relativa), dependiente del modelo del aparato.

Ubicación del medidor de dióxido de carbono en el ambiente de trabajo o aula:

- **A un metro y medio o más de distancia de las personas:** si se ubica cerca de las personas se podría alterar la medición, pues los dispositivos son muy sensibles a toda fuente de CO₂, incluida la exhalación directa.
- **A una altura de un metro o un metro y medio del piso**
- **Lo más alejado posible de puertas y ventanas,**
- De ser posible, ubicarlo aproximadamente en el **centro del aula o ambiente de trabajo.**



Ante situaciones donde la medición indique incrementos cercanos al umbral de 400 ppm, resulta conveniente que se realicen otras mediciones en distintos lugares del aula, especialmente en aquellos espacios donde se sospeche que hay menor ventilación.

¿Cómo se realiza la medición?

- ✓ Ventilar bien la oficina o el aula antes de iniciar la medición (lo más posible). La medición de base debe realizarse sin presencia de personas y con el ambiente preparado del mismo modo en que habitualmente se desarrollan las clases o el trabajo. Con la puerta y las ventanas en una posición fija (si se utilizan habitualmente, con el aire acondicionado o calefacción encendida).
- ✓ Si es posible, evitar realizar la medición cuando las condiciones del viento sean atípicas (si es que la puerta o alguna de las ventanas da al aire libre).
- ✓ Encender y, si corresponde, aguardar el tiempo de precalentamiento. El medidor demora en estabilizarse, por lo que es aconsejable no prenderlo y apagarlo entre mediciones.
- ✓ Al comenzar la medición, el valor de CO2 puede oscilar entre +/- 50 ppm durante dos minutos. Si se observa un cambio de la concentración de CO2 mayor a las 50 ppm, que es la resolución del medidor, significa que el valor está cambiando y que se debe esperar a su estabilización.
- ✓ Registrar el valor de CO2 de la medición inicial (previa al ingreso de personas al aula). Este es el valor de base contra el cual se deberán comparar los valores que se registren durante el transcurso de la clase.
- ✓ Monitorear y registrar el valor del CO2 durante distintos momentos de la clase o jornada de trabajo (por ejemplo, en las escuelas, a la mitad de la jornada antes del recreo y al finalizar la jornada)

Se debe realizar la medición una vez por semana durante dos semanas consecutivas, en cada turno de trabajo o clase en caso de una escuela

Se pueden realizar todas las mediciones adicionales que se consideren necesarias (mayor cantidad de personas en el grupo, realización de actividades de intensidad diferente, etc.).

¿Qué hacer si la medición arroja valores mayores a 400 ppm por encima del valor base?

Se deben poner en marcha acciones correctivas considerando las posibilidades de ventilación del ambiente.

1. Abrir las puertas y ventanas tanto como sea posible. Si hay varias ventanas es mejor abrir un poco todas que abrir bien solo una.
2. Si luego de aplicar medidas correctivas a través de la ventilación natural, se realiza una nueva medición sin resultados satisfactorios, se pueden instrumentar alternativas simples de ventilación mecánica, como colocar un ventilador en puertas o ventanas con el flujo de aire en dirección al exterior.
3. En el caso de que las puertas y ventanas del aula u oficina den a un pasillo interior con poca circulación de aire o a un patio interno cerrado en los que las mediciones estén por encima del límite, se deben cerrar estas aberturas lo máximo posible, dejando solo una pequeña apertura. A la vez, hay que abrir lo más posible las puertas o ventanas que den al aire libre exterior o a otros espacios interiores bien ventilados, pudiendo utilizar ventiladores que apunten hacia allí, de modo que ayuden a la renovación del aire.



Modificación de la Directiva Administrativa N° 321-MINSA/DGIESP-2021.
Directiva Administrativa que establece las Disposiciones para la Vigilancia, Prevención y Control de la Salud de los trabajadores con riesgo de exposición a SARS-CoV-2

4. Un resultado satisfactorio en la medición de CO₂ en un aula u oficina implica que se puedan relajar otras medidas de prevención de riesgo, como el distanciamiento social o el uso correcto y constante de mascarillas. Como se mencionó, las medidas de cuidado implican estrategias de reducción de riesgo que atacan diferentes formas de posible contagio y por tanto, son complementarias.
5. Si no se puede mantener el nivel de CO₂ lo suficientemente bajo mientras las personas se encuentren térmicamente cómodas, se deberán evaluar otras alternativas como reducir el tiempo de duración del bloque de clases.
6. En el caso de que las mediciones determinen que ninguna de las acciones correctivas ha resultado efectiva, se requerirá un espacio alternativo para la continuidad de las clases presenciales o limitar el número de personas que utilizan el aula (ampliando el distanciamiento físico).
7. Existen técnicas de limpieza del aire, como la filtración, que si bien eliminan los aerosoles no cambian la concentración de CO₂ en el ambiente. Por esta razón, en los espacios donde se filtra el aire se puede tolerar un nivel más alto de variación del CO₂ (alrededor de 200 ppm adicionales). Dado que el filtrado complementa a la ventilación, pero no la reemplaza, siempre es más recomendable ventilar que filtrar.



La ventilación es una medida complementaria de prevención y es efectiva si además se mantienen las otras medidas de cuidado como mascarillas y distanciamiento y tiempo de permanencia en el ambiente.

Anexo V. Protocolo Nacional de Monitoreo de la calidad ambiental del aire



PERÚ

Ministerio
del Ambiente

MINISTERIO DEL AMBIENTE

**PROTOCOLO NACIONAL DE MONITOREO
DE LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AIRE**



NOVIEMBRE 2019



CONTENIDO

A. GENERALIDADES	5
A.1 INTRODUCCIÓN	5
A.2 ANTECEDENTES	6
B. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROTOCOLO	8
B.1 OBJETIVO GENERAL	8
B.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
B.3 ALCANCE DEL PROTOCOLO	8
C. DISEÑO DE REDES PARA EL MONITOREO	8
C.1 CLASIFICACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	9
C.1.1 <i>Por su finalidad</i>	9
C.1.2 <i>Por su escala</i>	10
C.2 NÚMERO Y LOCALIZACIÓN DE ESTACIONES PARA UNA RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE	10
C.2.1 <i>Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire</i>	11
C.2.2 <i>Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios</i>	12
C.2.3 <i>Monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en la salud ambiental</i>	12
C.3 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE CALIDAD DEL AIRE A MONITOREAR	13
C.4 DETERMINACIÓN DE LA FRECUENCIA Y PERIODOS DE MONITOREO	14
C.5 ACCESIBILIDAD, SEGURIDAD Y DISPONIBILIDAD DE ENERGÍA	17
D. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE SEGÚN SU TECNOLOGÍA	18
D.1 SISTEMAS MANUALES PASIVOS	19
D.2 SISTEMAS MANUALES ACTIVOS	20
D.2.1 <i>Método activo para material particulado</i>	20
D.2.2 <i>Método activo para gases ambientales</i>	21
D.3 SISTEMAS AUTOMÁTICOS	21
D.3.1 <i>Métodos automáticos para material particulado</i>	21
D.3.2 <i>Métodos automáticos para gases ambientales</i>	22
D.4 SISTEMAS HÍBRIDOS	23
E. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR SU GRADO DE EXACTITUD	23
E.1 MÉTODOS DE REFERENCIA Y MÉTODOS EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE MATERIAL PARTICULADO (PM ₁₀ , PM _{2.5} Y PM ₁)	24
E.1.1 <i>Método de referencia</i>	24
E.1.2 <i>Métodos equivalentes</i>	27
E.2 MÉTODOS DE REFERENCIA Y MÉTODOS EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE DIÓXIDO DE AZUFRE	30
E.2.1 <i>Método de referencia (Fluorescencia ultravioleta)</i>	30
E.2.2 <i>Métodos equivalentes</i>	31
E.3 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE MONÓXIDO DE CARBONO	33
E.3.1 <i>Método de referencia (Infrarrojo No Dispersivo - NDIR)</i>	33
E.3.2 <i>Método equivalente</i>	34
E.4 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL DIÓXIDO DE NITRÓGENO	34
E.4.1 <i>Método de referencia (Quimioluminiscencia)</i>	34
E.4.2 <i>Métodos equivalentes</i>	35
E.5 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL OZONO TROPOSFÉRICO	37
E.5.1 <i>Método de Referencia (Fotometría de absorción ultravioleta)</i>	37
E.5.2 <i>Métodos equivalentes</i>	38
E.6 MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL SULFURO DE HIDRÓGENO	40





E.6.1	Método de Referencia (Fluorescencia ultravioleta)	40
E.6.2	Método equivalente	41
E.7	MÉTODOS DE REFERENCIA Y MÉTODOS EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE PLOMO Y/U OTROS METALES PESADOS EN PM ₁₀	41
E.7.1	Método de referencia (Espectrofotometría de Absorción Atómica)	41
E.7.2	Métodos equivalentes	41
E.8	MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE MERCURIO GASEOSO TOTAL	42
E.8.1	Métodos de referencia (CVAAS y CVAFS - Automáticos)	42
E.8.2	Métodos equivalentes	43
E.9	MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES PARA LA DETERMINACIÓN DE BENCENO (C ₆ H ₆)	45
E.9.1	Método de referencia	45
E.9.2	Métodos equivalentes	45
E.10	CONSOLIDADO DE MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES	46
F.	CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN	50
G.	ANÁLISIS PARA LA APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN ALTERNATIVOS	52
H.	SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN PARA OTROS PARÁMETROS QUE NO CUENTAN CON ECA ESTABLECIDO	54
I.	CRITERIOS TÉCNICOS Y REQUISITOS AUXILIARES PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE	54
I.1	CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO	54
I.2	REQUISITOS AUXILIARES PARA LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO	56
I.2.1	Para los sistemas pasivos	56
I.2.2	Para los sistemas activos	56
I.2.3	Para los sistemas automáticos	57
I.3	MONITOREO METEOROLÓGICO	59
J.	CALIBRACIÓN	61
J.1	PARA LOS SISTEMAS PASIVOS	62
J.2	PARA LOS SISTEMAS ACTIVOS	62
J.3	PARA LOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS	63
J.4	PARA LOS SENSORES DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	65
K.	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	65
K.1	PARA LOS SISTEMAS PASIVOS	66
K.2	PARA LOS SISTEMAS ACTIVOS	67
K.3	PARA LOS SISTEMAS AUTOMÁTICOS	68
K.4	PARA LOS SENSORES DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS	70
L.	PROCESAMIENTO Y REPORTE DE LA INFORMACIÓN DEL MONITOREO	70
L.1	PROCESAMIENTO	70
L.1.1	Data original (Cruda)	70
L.1.2	Validación de los datos de monitoreo	71
L.1.3	Cálculo de concentraciones	72
L.2	REPORTE O INFORME DE MONITOREO	74
L.2.1	Data original (Cruda)	74
L.2.2	Concentraciones validadas	74
M.	ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL MONITOREO	75
M.1	VERIFICACIÓN DOCUMENTARIA DEL CUMPLIMIENTO DEL PROTOCOLO	76
M.2	VERIFICACIÓN DEL REQUISITO DE ACREDITACIÓN	76
N.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77





O. ABREVIATURAS..... 84

P. ANEXOS..... 86

FIGURAS

FIGURA 1. DIAGRAMA DE MUESTREADOR DE DIFUSIÓN PASIVA 19

FIGURA 2. EJEMPLO DEL PROCESO DEL MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA MATERIAL PARTICULADO..... 20

FIGURA 3. ESQUEMA REFERENCIAL DE LOS COMPONENTES DE UN TREN DE MUESTREO AMBIENTAL 21

FIGURA 4. ESQUEMA DE UN CABEZAL SELECTIVO DE ALTO VOLUMEN PARA PM₁₀ 25

FIGURA 5. ESQUEMA DE UN CABEZAL SELECTIVO DE BAJO VOLUMEN PARA PM₁₀ 26

FIGURA 6. EJEMPLO DE PROTECTOR DE MUESTREADORES PASIVOS 56

FIGURA 7. EJEMPLO DE MANIFOLD PARA LA TOMA DE MUESTRAS DE GASES..... 59

FIGURA 8. EJEMPLO DE TOMA DE MUESTRAS DE PARTÍCULAS..... 59

TABLAS

TABLA 1. NÚMERO MÍNIMO DE ESTACIONES DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE, SEGÚN CRITERIO POBLACIONAL..... 11

TABLA 2. PARÁMETROS A PRIORIZAR EN FUNCIÓN A LAS FUENTES VINCULADAS 13

TABLA 3. REQUISITOS DE FRECUENCIA Y PERIODOS DE MONITOREO PARA REDES VINCULADAS A PLANES DE ACCIÓN 15

TABLA 4. REQUISITOS DE FRECUENCIA Y PERIODOS PARA EL MONITOREO DE ÁREAS ASOCIADAS A ACTIVIDADES..... 16

TABLA 5. MÉTODOS AUTOMÁTICOS DE LA CALIDAD DEL AIRE..... 22

TABLA 6. CONSOLIDADO DE MÉTODOS DE REFERENCIA Y EQUIVALENTES 47

TABLA 7. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE MÉTODOS DE MEDICIÓN 51

TABLA 8. CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE LOS EQUIPOS DE MONITOREO 55

TABLA 9. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA ESTACIONES METEOROLÓGICAS 60

TABLA 10. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS 60

TABLA 11. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS DE MUESTREO ACTIVO..... 63

TABLA 12. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA CALIBRACIÓN DE EQUIPOS AUTOMÁTICOS 64

TABLA 13. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN DE SISTEMAS DE MUESTREO PASIVO..... 66

TABLA 14. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN PREVIA DE EQUIPOS DE MUESTREO ACTIVO 67

TABLA 15. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN OPERACIONAL, DURANTE EL MUESTREO..... 68

TABLA 16. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN PREVIA DE EQUIPOS AUTOMÁTICOS 69

TABLA 17. CRITERIOS TÉCNICOS BASE PARA LA VERIFICACIÓN EN CAMPO DE EQUIPOS AUTOMÁTICOS 69

TABLA 18. ACCIONES DE ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DE LOS MONITOREOS 75



A. GENERALIDADES

A.1 Introducción

La vigilancia y el monitoreo ambiental tienen por finalidad generar información que permita orientar la adopción de medidas que aseguren el cumplimiento de los objetivos de la política y normativa ambiental. Para tal efecto, el artículo 133 de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, señala que la Autoridad Ambiental Nacional debe establecer los criterios para el desarrollo de las acciones de vigilancia y monitoreo en el país.

En línea con lo estipulado por la Ley General del Ambiente, mediante la Segunda Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Aire, se encargó al Ministerio del Ambiente la elaboración del Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire, en coordinación con las autoridades competentes.

Bajo ese contexto normativo, el Ministerio del Ambiente ha elaborado el presente protocolo, cuyo contenido establece los criterios técnicos que estandarizan el monitoreo de este componente ambiental a nivel nacional, buscando generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa para su aplicación como insumo en la formulación de las diversas estrategias, planes y otros instrumentos de gestión ambiental destinados a la mejora de la calidad del aire.

En resumen, este protocolo nacional define los criterios para el diseño de las redes o estaciones de monitoreo, con la finalidad de asegurar el desarrollo de operaciones eficaces y eficientes, basadas en una planificación previa sustentada en aspectos técnicos. Asimismo, se determinan los métodos que resultan aplicables para el monitoreo de la calidad del aire, así como aquellos aspectos que deben ser considerados al momento de su aplicación.

También se explican los métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de los parámetros de calidad del aire, incluyendo los procedimientos de medición, sobre la base de normas técnicas nacionales e internacionales. Además, tomando en cuenta la pluralidad de escenarios de contaminación del aire, se establecen los criterios para la selección adecuada de los métodos de medición, así como los aspectos que se deben cumplir para el uso de métodos alternativos o para el monitoreo de parámetros que no cuentan con un ECA en la normativa vigente.



Por otro lado, resulta importante destacar que el protocolo detalla, de forma adicional, las acciones de operación, mantenimiento y calibración de cada uno de los sistemas de medición que se encuentran en las estaciones de monitoreo de calidad del aire. Asimismo, en la medida que es fundamental la difusión de información de calidad del aire para la toma de decisiones y la definición de políticas públicas locales, regionales y nacionales, el protocolo también desarrolla los requerimientos técnicos necesarios para un adecuado procesamiento y reporte de la información generada a partir de las acciones de monitoreo de la calidad del aire.

Finalmente, se debe precisar que este documento técnico se encarga de establecer, de manera clara y concisa, las acciones de aseguramiento y control de calidad que deben efectuarse a lo largo



de las distintas etapas del monitoreo, incluyendo los aspectos relativos a las auditorías de redes y/o estaciones de monitoreo que deben realizarse, con la finalidad de orientar las acciones que permitan la mejora continua de los sistemas de monitoreo con que cuenta el país.

De modo que, como se puede observar, este instrumento constituye una herramienta que, en su conjunto, orienta, ordena y uniformiza el monitoreo de la calidad del aire, al brindar el soporte requerido tanto por las entidades públicas como por las instituciones privadas y particulares, respecto de los procedimientos y metodología necesaria para la ejecución de las acciones de monitoreo y vigilancia enmarcadas dentro de la gestión de la calidad ambiental del aire.

A.2 Antecedentes

En el año 2001, mediante Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, se aprobaron por primera vez en el país los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Aire. En este instrumento normativo se establecieron valores ECA para seis parámetros, los cuales se señalan a continuación:

- Material particulado menor a 10 micras (PM₁₀).
- Monóxido de carbono (CO).
- Dióxido de nitrógeno (NO₂).
- Dióxido de azufre (SO₂).
- Ozono (O₃).
- Plomo (Pb) en PM₁₀.

Posteriormente, en el periodo comprendido entre los años 2003 y 2013, se aprobaron tres normas complementarias, esto es: (i) el Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, que estableció un valor anual para el parámetro plomo (Pb) en PM₁₀; (ii) el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, que fijó nuevos valores para el dióxido de azufre (SO₂), así como otros parámetros adicionales¹; y, (iii) el Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, con el que se establecieron disposiciones complementarias para la aplicación de los ECA para Aire.

Sin perjuicio de estos dispositivos legales, con la finalidad de medir la calidad del aire, la Primera Disposición Transitoria del Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, determinó que era necesario contar con directivas y normas que regulen los aspectos técnicos requeridos para las mediciones. En ese contexto, mediante Resolución Directoral N° 1404/2005/DIGESA, la Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria aprobó, en el año 2005, el "Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos".

Al respecto, cabe indicar que, mientras el mencionado protocolo fue elaborado únicamente para las escalas local y urbana², algunas autoridades sectoriales establecieron también criterios técnicos por medio de otros protocolos, los cuales se citan a continuación:

- Protocolo para el Monitoreo de Emisiones Atmosféricas y Calidad del Aire de la industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos, aprobado por el Ministerio de la Producción mediante Resolución Ministerial N° 194-2010-PRODUCE.



¹ Benceno, material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2,5}), hidrógeno sulfurado (H₂S) e hidrocarburos totales expresados como hexano.
² Véase el Punto 6: "Escalas del monitoreo" del Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos.



- Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aire y Emisiones para actividades Minero Metalúrgicas.
- Protocolo de Monitoreo de calidad de Aire y Emisiones Sub Sector Hidrocarburos.

En el año 2017, con el objetivo de actualizar y unificar la normativa en materia de ECA para Aire, se aprobó el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, a través del cual se actualizan los ECA para Aire, quedando establecidos diez parámetros:

- Material particulado con menor a 10 micras (PM_{10}).
- Material particulado con menor a 2,5 micras ($PM_{2,5}$).
- Monóxido de carbono (CO).
- Dióxido de nitrógeno (NO_2).
- Dióxido de azufre (SO_2).
- Ozono (O_3).
- Plomo (Pb) en PM_{10} .
- Benceno (C_6H_6).
- Mercurio Gaseoso Total (MGT).
- Sulfuro de Hidrógeno (H_2S).

Con relación a los ECA para Aire, la Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú (2016)³, publicada por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), recomiendan al país fortalecer la infraestructura de redes de monitoreo de la calidad del aire de forma que permita verificar adecuadamente el cumplimiento de los ECA. Lo señalado en esta recomendación no solo comprende la implementación de estaciones o redes de monitoreo a nivel nacional, sino también la aprobación de procedimientos adecuados y confiables para el control y aseguramiento de la calidad de la información generada.

Por ese motivo, es indispensable contar con un protocolo nacional para el monitoreo de la calidad del aire, que establezca y uniformice los criterios y lineamientos técnicos de medición, pues ello permitirá generar información oportuna y precisa para su difusión, declaración de alertas, verificación del cumplimiento de los ECA, así como para el desarrollo de instrumentos de mitigación, prevención y estudios de correlación causa-efecto en la salud pública.



³

OCDE, CEPAL. (2016). Evaluaciones de Desempeño Ambiental Perú. Naciones Unidas, Santiago.



B. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL PROTOCOLO

B.1 Objetivo general

El objetivo general del presente protocolo consiste en estandarizar los criterios técnicos para el monitoreo ambiental del aire en el país, a fin de generar información de calidad, comparable, compatible, confiable y representativa.

B.2 Objetivos Específicos

- Determinar los criterios técnicos para asegurar el diseño y operación eficiente de las estaciones y redes de monitoreo de calidad del aire en el país.
- Establecer los métodos de referencia y equivalentes para la determinación de las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire regulados en los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire.
- Incorporar criterios que permitan orientar la medición de aquellos parámetros de la calidad del aire no regulados en la normativa nacional vigente.
- Proporcionar criterios y herramientas para el aseguramiento y control de la calidad de la información generada en los monitoreos de calidad del aire.

B.3 Alcance del protocolo

Los criterios técnicos contenidos en el presente protocolo son aplicables a toda persona natural o jurídica, pública o privada, los que deben ser observados durante cada una de las etapas relativas al monitoreo de la calidad ambiental del aire.



El presente protocolo debe ser aplicado a todo monitoreo realizado en ambientes exteriores⁴, que tenga por objetivo determinar la calidad ambiental del aire en las escalas de microescala, media, local y urbana. Este documento establece los criterios técnicos que deben aplicarse en las acciones de monitoreo de parámetros que cuenten o no con ECA para aire en la normativa nacional vigente.

C. DISEÑO DE REDES PARA EL MONITOREO

El diseño de cualquier sistema de monitoreo se fundamenta principalmente en la necesidad de determinar, de manera eficaz y eficiente, las concentraciones de contaminantes del aire en un área determinada, con la finalidad de contar con información oportuna y objetiva para la toma de decisiones, que permitan orientar la formulación de medidas preventivas, correctivas o de mejora continua, según sea el caso.

A efectos de determinar el diseño, escalas y clasificación de las áreas del monitoreo, se debe considerar tres enfoques de trabajo:

⁴ El término "ambientes exteriores" hace referencia a todo ambiente fuera de oficina, fuera de la zona donde se realiza la actividad productiva en una planta industrial, y fuera de domicilio, el cual, en adición a ello, deberá cumplir con los criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo establecidos en la sección 1.1 del presente documento.

- **Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire**, el cual puede enmarcarse tanto en las Zonas de Atención Prioritaria (ZAP) como en cualquier centro poblado a nivel nacional.
- **Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y/o de servicios**, el mismo que puede comprender tanto las acciones de monitoreo de la calidad ambiental del aire a cargo de los titulares de la actividad como de la autoridad ambiental competente en materia de fiscalización ambiental.
- **Monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental**. Al respecto, se debe considerar que, por la naturaleza de este enfoque, también puede ser aplicado a toda investigación académica en materia de calidad del aire.

La determinación del enfoque de trabajo constituye el primer paso para la determinación de todos los demás criterios técnicos establecidos en el presente protocolo.

C.1 Clasificación de estaciones de monitoreo de calidad del aire

Las estaciones de monitoreo de calidad del aire se clasifican de la siguiente manera:

C.1.1 Por su finalidad⁵

- **Estación urbana:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en un área urbana representativa.
- **Estación sub-urbana:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en una área sub-urbana representativa, la cual es considerada como aquella zona urbanizada que se mezcla con áreas rurales (por ejemplo, agrícola, lagos, bosques).
- **Estación rural:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en un área rural representativa, la misma que cuenta con poblaciones pequeñas y dispersas, con actividad agrícola o pecuaria no industrializada.
- **Estación de tráfico:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire vinculadas a las emisiones del tráfico terrestre cercano.
- **Estación industrial:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire vinculadas a las áreas asociadas a actividades industriales (extractivas, productivas y/o de servicios). Debe encontrarse fuera de la zona donde se realiza la actividad productiva. Este tipo de estación puede verse influenciada por fuentes industriales individuales o áreas industriales con múltiples fuentes de emisión.
- **Estación de fondo:** Es aquella estación que permite determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire con la finalidad de elaborar la línea base de la actividad,



⁵ Seinfeld J. & Pandis S. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, 2nd edition.



previo al inicio de la misma. Además, comprende aquellos casos en que se requiera determinar las concentraciones de los parámetros de la calidad del aire en un área geográfica localizada a barlovento de las actividades que se pretenden evaluar.

C.1.2 Por su escala⁶

Los procesos dinámicos en la atmósfera varían desde algunos centímetros hasta movimientos de grandes masas de aire de dimensiones continentales. Por lo que, la dispersión de los contaminantes en la atmósfera, debido a factores meteorológicos, topográficos u de otra índole, se puede desarrollar a distintas escalas, en función de las cuales es posible categorizar los siguientes tipos de estaciones:

- **Estación de Microescala:** Está asociada a fenómenos que ocurren a escalas de 0 m a 100 m, por ejemplo la circulación del viento entre los edificios en un área urbana en la cual se busca determinar la dispersión de contaminantes provenientes de fuentes de emisión cercanas.
- **Estación de Escala Media:** Se encuentra asociada a fenómenos de dispersión que ocurren a escalas de 100 m a 0,5 km.
- **Estación de Escala Local:** Permite determinar concentraciones dentro de un área cuyo uso del suelo sea relativamente uniforme y que presente dimensiones en el rango de 0,5 km a 4 km.
- **Estación de Escala Urbana:** Permite determinar concentraciones dentro de un área de dimensiones tipo ciudad, del orden de 4 km a 50 km.
- **Estación de Mesoescala:** Está asociada a fenómenos que ocurren a escalas de 50 a cientos de kilómetros, como la brisa marina, los vientos del valle montañoso y los frentes migratorios de alta y baja presión.
- **Estación Sinóptica:** Se encuentra asociada a los movimientos de los sistemas meteorológicos completos, a escalas de cientos a miles de kilómetros.
- **Escala Global:** Está asociada a fenómenos que ocurren a escalas mayores a 5 000 km.



Respecto a las estaciones de las categorías Mesoescala, Sinóptica y Global, éstas son incluidas de manera conceptual en esta sección pero no corresponden al ámbito de alcance del presente protocolo, todo ello de conformidad con lo establecido en la sección B.3.

C.2 Número y localización de estaciones para una red de monitoreo de calidad del aire

Para determinar la cantidad de estaciones a implementar en el diseño de una red de monitoreo de la calidad del aire, es necesario tener como base referencias técnico-científicas que permitan establecer un número mínimo de estaciones.

⁶ CFR 40, part 58, appendix D (2016). Network Design Criteria for Ambient Air Quality Monitoring.

Al respecto, tomando en consideración la experiencia internacional⁷, se ha establecido que la cantidad de estaciones debe ser definida en virtud al enfoque y objetivo del monitoreo, de acuerdo al siguiente detalle:

C.2.1 Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire

Por su naturaleza, este tipo de monitoreo se enfoca, principalmente, en un área denominada Zona de Atención Prioritaria (ZAP)⁸ donde se localizan **centros poblados**, en los cuales las fuentes de área⁹ y fuentes móviles adquieren una relevancia significativa por su nivel de aporte de contaminantes vinculados a potenciales efectos a la **salud de la población**. Debido a lo señalado, para el caso de las ZAP, se toma en consideración el "criterio poblacional", de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 1. Número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire, según el criterio poblacional

Población (miles de habitantes)	Número mínimo de estaciones de monitoreo
0 - 249	1
250 - 749	2
750 - 999	3
1000 - 1499	4
1500 - 1999	5
2000 - 2749	6
2750 - 3749	7
3750 - 4749	8
4750 - 5999	9
≥ 6000	10

Fuente: Directiva 2008/50/CE de la Comunidad Europea.

La Tabla 1 resulta aplicable para determinar el número mínimo de estaciones cuando el aporte de las fuentes de área y fuentes móviles predomina en las ZAP. Sin embargo, cuando las fuentes puntuales dentro de las ZAP adquieren una mayor relevancia¹⁰, se debe considerar tanto el criterio poblacional (detallado en la Tabla 1), así como el criterio indicado en el siguiente apartado (C.2.2), a fin de determinar el número mínimo de estaciones de monitoreo de calidad del aire.

En adición a lo anterior, en caso las ZAP evaluadas cuenten con estudios más detallados de inventarios de emisiones y dispersión atmosférica de los contaminantes, los resultados de dichos estudios deben ser utilizados como referencia técnico-científica que permita una determinación



⁷ Véase la Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa. Consultar además: Alberta Environment and Parks (2016). Air Monitoring Directive.

⁸ De conformidad con la Cuarta Disposición Complementaria Final del Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, las Zonas de Atención Prioritaria son aquellos centros poblados que cuenten con actividades económicas que planteen real o potencial afectación en la calidad del aire, que posean actividad vehicular ambientalmente relevante, o que cuenten con una dinámica urbana que implique un potencial incremento de emisiones atmosféricas.

⁹ De conformidad con la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1999), Las fuentes de área son esencialmente fuentes demasiado numerosas y dispersas como para ser incluidas de manera efectiva en el inventario de fuentes fijas. Por ejemplo las panaderías, pollerías, estaciones de servicio / grifos, entre otros.

¹⁰ La relevancia de una o más fuentes puntuales dentro de una ZAP es definida de conformidad con lo establecido en la Resolución Ministerial N° 305-2017-MINAM.



más precisa del número mínimo y localización de las estaciones de la red de monitoreo que se busca implementar.

C.2.2 Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios

Este tipo de monitoreo tiene por objeto realizar acciones que permitan obtener información para evaluar o dar seguimiento a la evolución y comportamiento de la calidad del aire, relacionado a una o más fuentes industriales (extractivas y productivas) y/o de servicios (entre ellas, por ejemplo, pollerías, grifos o estaciones de servicio).

Para la implementación de la red de monitoreo se debe considerar como mínimo 2 estaciones (barlovento y sotavento). De no ser así, la autoridad competente en materia de certificación ambiental puede determinar un mayor número de estaciones sobre la base de los patrones probables de distribución o dispersión de los contaminantes del aire y las áreas de exposición potencial de la población y los ecosistemas¹¹. Para el emplazamiento de las estaciones de la red de monitoreo, debe considerarse que estas deben encontrarse fuera de la zona donde se realiza la actividad extractiva, productiva o de servicio.

Al respecto, se sugiere que los patrones probables de distribución sean estudiados utilizando la información de una estación meteorológica que cuente con sensores de dirección y velocidad de viento, tomando en consideración la predominancia de los vientos, el comportamiento de las masas de aire, entre otros aspectos.

C.2.3 Monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en la salud ambiental

Los monitoreos de este tipo tienen por objeto generar información respecto al estado de la calidad del aire para la prevención/evaluación de riesgos en la salud, dicha información debe ser confiable, comparable y representativa para su aplicación en la formulación de medidas o estrategias orientadas a la protección de la salud de la población y su entorno.

Los datos del estado de la calidad del aire generados por los monitoreos realizados bajo el enfoque de prevención/evaluación de riesgos en la salud ambiental, así como la información proveniente de las estaciones de monitoreo vinculadas a los planes de acción para la mejora de la calidad del aire (C.2.1), la información proveniente de las estaciones vinculadas a los monitoreos de las áreas asociadas a las actividades extractivas, productivas y de servicios (C.2.2), pueden ser utilizadas para la elaboración de evaluaciones epidemiológicas.

Además de lo anterior, es posible diseñar redes de monitoreo orientadas a estudios epidemiológicos. En ese caso, el número de estaciones de monitoreo se debe determinar, sobre la base del estudio o investigación. Para cuyo efecto, se recomienda que la localización de las estaciones de este tipo sea priorizada en función del riesgo en la salud de la población, respecto al estado de la calidad del aire.



¹¹

Véase la Directiva 2008/50/CE, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa.



C.3 Determinación de los parámetros de calidad del aire a monitorear

Como ya se ha indicado previamente, es necesario que el monitoreo de la calidad del aire (ejecutado a través de una acción o un conjunto de acciones) se realice de manera eficaz y eficiente, por lo que en ningún caso debe entenderse que medir la calidad del aire implica *a priori* la necesidad de medir todos los parámetros establecidos en el ECA para Aire vigente.

En ese sentido, para la determinación de los parámetros a monitorear se recomienda tomar como referencia los inventarios de emisiones u otras fuentes de información bibliográfica técnico-científica que permita establecer una priorización de aquellos parámetros con mayor incidencia en la calidad del aire correspondiente al área de estudio o monitoreo.

Así por ejemplo, en las áreas asociadas a actividades mineras extractivas, los parámetros como el ozono (O₃) o el sulfuro de hidrógeno (H₂S) no deben priorizarse al no estar vinculados a estas actividades, sobre todo considerando la necesidad de que las acciones de monitoreo deban ser cada vez más eficientes. Otro ejemplo bastante claro, es el caso de los grifos o estaciones de servicio, donde los parámetros como el material particulado menor a 10 micras (PM₁₀) o menor a 2,5 micras (PM_{2,5}) no son parámetros a priorizar, mientras que el benceno (C₆H₆) sí constituiría un parámetro cuyo monitoreo es importante para la actividad en mención.

De conformidad con lo explicado, a continuación se presenta una tabla que orienta la determinación de los parámetros a priorizar, según las fuentes de emisión vinculadas al área donde funcionará la red o estación de monitoreo.

Tabla 2. Parámetros a priorizar en función a las fuentes vinculadas

Fuentes vinculadas	Parámetros a priorizar	Referencia bibliográfica
Parque automotor, vías pavimentadas y zonas urbanas	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , CO, C ₆ H ₆ y O ₃ (ozono debido a la emisión de precursores)	<ul style="list-style-type: none"> • EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 (1.A.3.b.i-iv Road transport 2018). • AP 42, chapter 13.2.1: Paved Roads.
Producción / Fundición del Hierro y el Acero	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ y CO	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, chapter 12.5: Iron and Steel Production. • AP-42, chapter 12.13: Steel Foundries.
Fundición y/o refinación metálica (no ferrosa)	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , metales pesados ¹ (Pb, As y MGT)	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, chapter 12.3, 12.6, 12.7 Primary Copper, Lead and Zinc Smelting. • AP-42, chapter 12.9, 12.11, 12.14 Secondary Copper, Lead and Zinc Smelting. • Convenio de Minamata. Anexo D. Lista de fuentes puntuales de emisiones de mercurio y compuestos de mercurio a la atmósfera.
Extracción de minerales metálicos	PM ₁₀ , PM _{2,5} , metales pesados ¹ (Pb, As y MGT)	<ul style="list-style-type: none"> • AP-42, chapter 11.24 Metallic Minerals Processing. • Convenio de Minamata. Anexo C. Extracción de oro artesanal y en pequeña escala.





Fuentes vinculadas	Parámetros a priorizar	Referencia bibliográfica
Establecimientos de venta al público de Combustibles Líquidos	C ₆ H ₆	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, chapter 5.2: Transportation and Marketing of Petroleum Liquids. Silva, L. et al. Section 5. Air Quality: Contribution to atmospheric benzene concentrations of the petrol stations in a mid-sized city. Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards II.
Industria de Procesamiento Combustibles	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , CO y C ₆ H ₆	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, chapter 5.1: Petroleum Refining.
Producción de Cemento	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , CO, y MGT	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, chapter 11.6: Portland Cement Manufacturing. Portland Cement Association. Mercury Emission and Speciation from Portland Cement Kilns (2003). Convenio de Minamata. Anexo D. Lista de fuentes puntuales de emisiones de mercurio y compuestos de mercurio a la atmósfera.
Industria de Harina de Pescado	PM ₁₀ , PM _{2,5} y H ₂ S	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, CH 9.13.1: Fish Processing.
Procesamiento de la caña de azúcar	PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , NO ₂ , CO y C ₆ H ₆	<ul style="list-style-type: none"> AP 42, CH 9.10.1.1: Sugarcane Processing. CTBE/CNPEM. Sugarcane Life Cycle Inventory (2012).
Producción de ladrillos	PM ₁₀ , PM _{2,5} , NO ₂ , SO ₂ y CO	<ul style="list-style-type: none"> AP-42, chapter 11.3 Brick and Structural Clay Product Manufacturing.

Nota:

⁽¹⁾ En función de las características del mineral y/o los insumos involucrados en el proceso. Elaboración propia (2018).



Sobre el particular, se debe indicar que la Tabla N° 2 no incluye todas las fuentes antrópicas y/o naturales que pueden encontrarse vinculadas a una red o estación de monitoreo de calidad del aire, por lo que su finalidad es orientadora. En ese sentido, los parámetros a priorizar para las acciones de monitoreo de calidad del aire deben basarse en inventarios de emisiones, características de los procesos u otra fuente de información bibliográfica de carácter técnico-científico que permita identificar los parámetros a priorizar. La mencionada información debe formar parte del diagnóstico de línea base.

C.4 Determinación de la frecuencia y periodos de monitoreo

El monitoreo de la calidad del aire debe realizarse con una frecuencia y por un periodo que, mínimamente, permita obtener data confiable y representativa.

En el caso de estaciones o redes de monitoreo vinculadas a planes de acción para la mejora de la calidad del aire o a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental, el monitoreo debe ser realizado, preferentemente, mediante métodos que permitan obtener información de manera continua y en tiempo real.



No obstante lo señalado, si se presentan limitaciones presupuestales y de sostenibilidad para la operación de sistemas continuos, se pueden incorporar sistemas manuales (ver Sección D). Al respecto, es preciso indicar que con la finalidad de realizar comparaciones con los ECA para aire solo se puede utilizar aquella información que haya sido generada mediante monitoreos con métodos de referencia y/o equivalentes (ver Sección E).

Con la finalidad de facilitar el entendimiento de las Tablas N° 3 y 4, se sugiere revisar, en la sección P, el anexo denominado “Guía para el cálculo de promedios comparables con su correspondiente ECA”.

Tabla 3. Requisitos de frecuencia y periodos de monitoreo para redes vinculadas a planes de acción para la mejora de la calidad del aire o a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental, (por estación de monitoreo al año)

Tipo de tecnología	Tipo de monitoreo	Periodo a promediar (en base al ECA)	Mínima suficiencia de información válida requerida	Frecuencia mínima por muestra o registro
Automática	Continuo	1 hora	>75% (45 minutos)	Continua
		8 horas	>75% (6 horas)	Continua
		24 horas	>75% (18 horas)	Continua
		Mensual	>75% (23 días)	Continua
		Anual	>75% (9 meses)	Continua
Manual	Discontinuo	1 hora	>90% (54 minutos)	Una muestra horaria cada 6 días
		8 horas	>90% (7 horas)	Una muestra octohoraria cada 6 días
		24 horas	>90% (22 horas)	Una muestra diaria cada 6 días
		Mensual	>14% (5 días)	Sobre la base de muestreos diarios: Una muestra diaria cada 6 días, o Sobre la base de muestreos mensuales: Una muestra integrada de un mes ¹²
		Anual	>14% (2 meses)	Sobre la base de muestreos diarios: • Una muestra diaria cada 6 días, o • 30 muestras diarias contiguas para verano y 30 muestras diarias contiguas para invierno, o Sobre la base de muestreos mensuales: Una muestra integrada de un mes para verano y una muestra integrada de un mes para invierno



Fuente: Basado en EPA-454/B-17-001 (2017) y la Directiva 2008/50/CE. Elaboración propia (2018).

En el caso de los monitoreos discontinuos (ver Tabla N° 3), deben priorizarse como periodos de medición aquellos en los que exista mayor presencia de un determinado contaminante. Por ejemplo, el ozono (O₃) debe medirse, prioritariamente, en los momentos de mayor luz solar;

¹² El término “muestra integrada de un mes” se refiere a una sola muestra cuya colección inicia el primer día del mes y culmina el último día del mes, sin interrupciones durante la acción de muestreo.



mientras que el material particulado menor a 2,5 micras (PM_{2,5}), debe medirse preferentemente en los momentos de mayor tránsito automotor o actividad industrial.

Por otro lado, en lo que respecta al monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental u otro tipo de investigaciones, cabe la posibilidad de variar las frecuencias y periodos de monitoreo establecidos en la Tabla N° 3, en función del diseño experimental de la investigación.

Tabla 4. Requisitos de frecuencia y periodos para el monitoreo de áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios (por estación de monitoreo en cada campaña)

Tipo de tecnología	Tipo de monitoreo	Periodo de medición (en base al ECA)	Mínima suficiencia de información válida requerida	Frecuencia mínima por muestra o registro
Automática	Continuo	1 hora	>75% (45 minutos)	Continua por 5 días
		8 horas	>75% (6 horas)	Continua por 5 días
		24 horas	>75% (18 horas)	Continua por 5 días
		Mensual	>14% (5 días)	Continua por 5 días
		Anual	1 mes	Continua por un mes
Manual	Discontinuo	1 hora	>90% (54 minutos)	<ul style="list-style-type: none"> Una muestra horaria al día por 5 días consecutivos, o Una muestra horaria cada 6 días dentro del periodo de un mes
		8 horas	>90% (7 horas)	<ul style="list-style-type: none"> Una muestra octohoraria al día por 5 días consecutivos, o Una muestra octohoraria cada 6 días dentro del periodo de un mes
		24 horas	>90% (22 horas)	<ul style="list-style-type: none"> 5 muestras diarias contiguas, o Una muestra diaria cada 6 días dentro del periodo de un mes
		Mensual	>14% (5 días)	<p><u>Sobre la base de muestreos diarios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 5 muestras diarias contiguas dentro del periodo de un mes, o Una muestra diaria cada 6 días dentro del periodo de un mes, o <p><u>Sobre la base de muestreos mensuales:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Una muestra integrada de un mes
		Anual	1 mes	<p><u>Sobre la base de muestreos diarios:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> 30 muestras diarias contiguas, o <p><u>Sobre la base de muestreos mensuales:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> Una muestra integrada de un mes



Fuente: Basado en EPA-454/B-17-001 (2017) y la Directiva 2008/50/CE. Elaboración propia (2018).



En el caso de estaciones o redes de monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y/o de servicios, se debe tomar en consideración la magnitud de la actividad y el nivel de emisiones que ésta genera.

Asimismo, debido a que estas estaciones o redes de monitoreo se encuentran vinculadas a los instrumentos de gestión ambiental de la actividad, tales como los Estudios de Impacto Ambiental (EIA), los Programas de Adecuación y Manejo Ambiental (PAMA), entre otros, es fundamental que los monitoreos sean realizados con métodos de referencia y/o equivalentes (ver sección E) y por organismos acreditados (ver sección M.2).

Por otro lado, con relación a las frecuencias y periodos de monitoreo para las áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y/o de servicios, debe tomar como base lo indicado en la Tabla N° 4.

Sobre la base de los criterios de evaluación establecidos en los ECA para Aire, aprobados mediante Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, se recomienda que la cantidad de campañas de monitoreo debe ser mínimamente 2 al año, siendo finalmente el número campañas definido por la autoridad competente en materia de evaluación ambiental, la cual debe tomar en consideración los periodos de mayor actividad de la industria, así como las variaciones meteorológicas basadas en la estacionalidad (verano, otoño, invierno y primavera).

Para el caso de la industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos, deberán ser realizadas un mínimo de 2 campañas al año (1 en tiempo de veda y 1 en tiempo de producción), la campaña en tiempo de veda podrá reducirse en cantidad de días de monitoreo de acuerdo a lo que defina la autoridad competente en materia de certificación ambiental.



Para sus propias acciones de evaluación de la calidad ambiental, las Entidades de Fiscalización Ambiental (EFA) y el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) pueden considerar distintas frecuencias de monitoreo a fin de generar información para los procesos de supervisión y fiscalización ambiental, sin perjuicio de que se cumpla con el periodo de medición y la mínima suficiencia de información válida requerida, conforme a lo establecido en la Tabla N° 4.

C.5 Accesibilidad, seguridad y disponibilidad de energía

Si bien en gabinete se puede desarrollar el modelo teórico óptimo para el monitoreo de la calidad del aire, las condiciones del campo como accesibilidad, seguridad y disponibilidad de energía, entre otros factores, pueden dificultar la ejecución del monitoreo en los lugares seleccionados.

Por esa razón, el diseño real de la red o estación de monitoreo debe basarse, necesariamente, en el diseño teórico-óptimo, así como en la información levantada en campo, a efectos de asegurar que los lugares finalmente determinados permitan alcanzar el objetivo del monitoreo.

En los casos donde la escasa disponibilidad de energía eléctrica constituya una dificultad, se evaluará la posibilidad de usar un grupo electrógeno u otra alternativa, sin que ello afecte el cumplimiento de los criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo establecidos en la sección I.1 del presente protocolo.



D. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE SEGÚN SU TECNOLOGÍA

De acuerdo con las Guías de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los costos y niveles de desempeño que implican, se pueden clasificar en cuatro tipos genéricos: (i) sistemas manuales pasivos, (ii) sistemas manuales activos, (iii) sistemas automáticos, y (iv) sensores remotos.

En el presente protocolo se aborda únicamente los **sistemas manuales pasivos, sistemas manuales activos y sistemas automáticos**, debido a que estos son los más usados en las diversas redes de monitoreo implementadas en el país.

Antes de detallar el funcionamiento de estos tres sistemas de monitoreo, es importante brindar una explicación previa sobre los **aspectos básicos para la captura de muestras que permitan determinar la calidad del aire**:

- En el caso de los componentes ambientales, como el agua o el suelo, es posible transportar las muestras en una cantidad "x" (es decir "x" litros de muestra de agua o "x" kilogramos de muestra de suelo). Sin embargo, en el caso del aire es complicado trasladar una cantidad "x" de metros cúbicos, por lo que el mecanismo de toma de muestras se orienta a la captura del analito o sustancia de interés. Por esta razón, la cantidad de aire es medida a través de un medidor de flujo de aire, durante la toma de muestra.
- En específico, para tomar una muestra de aire, el dispositivo o equipo a ser utilizado debe permitir lo siguiente:
 - (i) **Ingresar la muestra de aire:** Los equipos utilizados deben contar con una entrada u orificio que, por efecto de la succión de una bomba (en equipos activos o automáticos), la difusión pasiva o la difusión molecular (en muestreadores pasivos para gases), permita el ingreso del aire con el analito para la toma de la muestra respectiva.
 - (ii) **Contar con un medio de colección para la sustancia de interés:** El medio de colección puede ser físico (Ej.: filtro) o químico (Ej.: el carbón activado o el tetracloromercurato de potasio). Ambos tipos de medios son aplicados en sistemas manuales pasivos y/o activos.
 - (iii) **En el caso de los equipos automáticos:** Como el análisis se realiza *in situ*, se debe contar necesariamente con una cámara analítica u otro dispositivo en el cual se analice la sustancia, a través de mecanismos ópticos como la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, entre otros.
 - (iv) **Controlar y medir el paso del aire:** Esto se logra mediante un controlador y medidor de flujo (en el caso de equipos activos o automáticos), o asumiendo un flujo teórico basado en la difusión molecular (en el caso de muestreadores pasivos para gases).





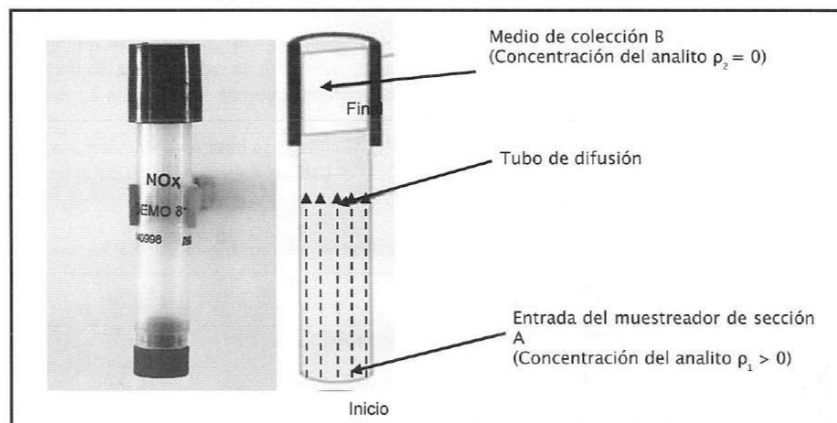
D.1 Sistemas manuales pasivos

Los muestreadores pasivos, al ser métodos simples, solo permiten brindar una aproximación acerca del estado de la calidad del aire, principalmente en zonas donde no se realizan monitoreos permanentes.

La medición de muestreadores pasivos cuenta actualmente con una metodología establecida en la Norma Técnica Peruana: *NTP 900.036:2017 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales*, la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. *"Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Parte 1: Requisitos Generales"*.

Los muestreadores pasivos son tubos cuyo tamaño y el flujo teórico (difusión molecular) varía de acuerdo al gas que se pretende medir, tal como se observa en la siguiente figura:

Figura 1. Diagrama de muestreador de difusión pasiva



Fuente: Passam Ag (2018) y Zapata, C. et al (2008).



Como se puede observar en la Figura 1, el aire ingresa por la entrada del muestreador de sección A (en la posición de inicio con una concentración del analito $p_1 > 0$). Una vez dentro del tubo muestreador, el analito que forma parte del aire ingresado es absorbido en la posición final por el medio de colección B¹³, el cual, en tanto no se encuentre saturado, permitirá que la concentración del analito p_2 se mantenga en 0, a fin de asegurar una adecuada difusión molecular durante el periodo de muestreo (el mismo que, generalmente, es de un mes).

¹³

Por ejemplo, para el caso del tubo pasivo de NO_x , la sustancia más utilizada como medio de colección es la Trietanolamina, mientras que para el SO_2 puede usarse el Carbonato de Sodio.



Posteriormente, el muestreador es trasladado a laboratorio a efectos de que el analito absorbido por el medio de colección B sea analizado.

El cálculo de concentración se basa en dividir la masa del analito (hallada en laboratorio) entre el volumen de muestra (basado en el flujo teórico indicado por el fabricante y el periodo de muestreo).

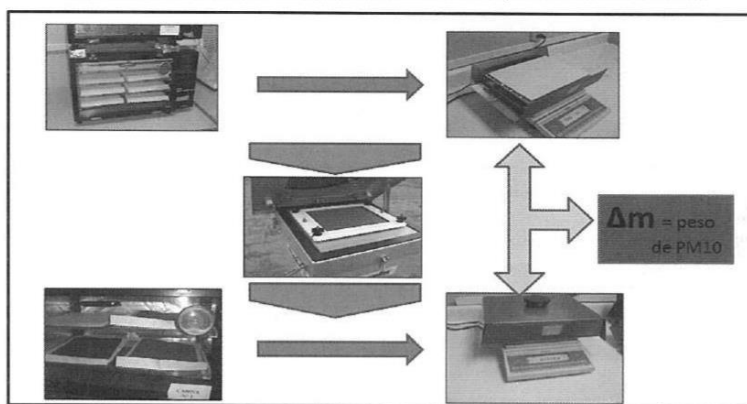
D.2 Sistemas manuales activos

D.2.1 Método activo para material particulado

El método activo para material particulado, denominado también como método gravimétrico, cuyo funcionamiento se describe a continuación:

- Una muestra de aire ingresa a flujo constante a través de un cabezal selectivo que se encarga de separar, mediante una fuerza inercial, las partículas mayores que no son de interés del monitoreo. Luego, las sustancias de interés¹⁴ (tales como PTS, PM₁₀, PM_{2,5} o PM₁) son colectadas en un filtro durante un periodo de muestreo específico (de 23 a 25 horas).
- Con relación al filtro utilizado para la toma de la muestra, cabe precisar que este debe ser desecado y pesado antes y después del muestreo, a fin de registrar el peso inicial y final del filtro, puesto que la diferencia de ambos permitirá obtener el peso neto de la sustancia de interés (masa del material particulado).
- El cálculo de concentración de la sustancia de interés se basa en dividir la masa del material particulado entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el periodo de muestreo específico.

Figura 2. Ejemplo del proceso del Método Gravimétrico para Material Particulado



Fuente: Ibañez, L. (2008).

¹⁴ Cabe precisar que los parámetros PTS (Partículas Totales en Suspensión) y PM1 (Material Particulado menor a 1 micra) no cuentan ECA nacional vigente.

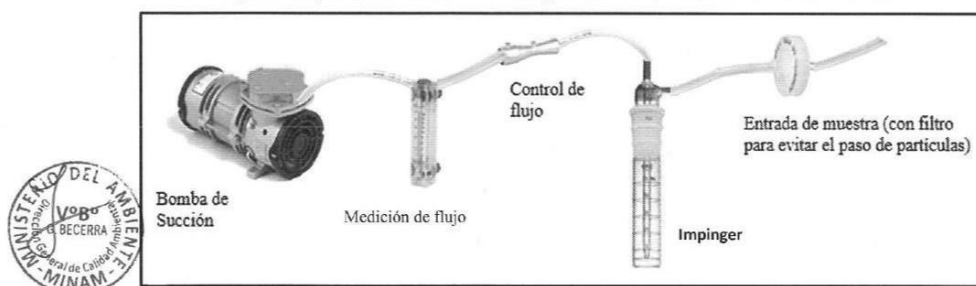
D.2.2 Método activo para gases ambientales

El método activo para gases ambientales se basa en el tren de muestreo ambiental, el cual está conformado por un conjunto de *impingers* o frascos colectores para cada gas que se quiera muestrear.

Los *impingers* tienen dos conexiones: una para el ingreso del aire, y otra para la salida del aire y su transporte hacia el dispositivo de control, dispositivo de medición de flujo y bomba de succión. A cada *impinger* se le vierte una cantidad de sustancia líquida absorbente como medio de colección. La sustancia a usar depende del analito que se desea medir.

Para el cálculo de la concentración de la sustancia de interés, se debe dividir la masa del gas ambiental entre el volumen de muestra, el cual se determina multiplicando el flujo del equipo por el período de muestreo específico.

Figura 3. Esquema referencial de los componentes de un tren de muestreo ambiental



Elaboración propia (2018).

D.3 Sistemas automáticos

Los sistemas automáticos usan una bomba de succión, al igual que los otros sistemas anteriormente explicados. Sin embargo, a diferencia de ellos, el objetivo de estos equipos no es coleccionar muestras del analito para ser analizadas en el laboratorio, sino determinar su concentración en una cámara de análisis, que usualmente utiliza métodos ópticos (entre ellos, la fluorescencia UV, la quimioluminiscencia, la dispersión de la luz y la atenuación de rayos beta).

D.3.1 Métodos automáticos para material particulado

Para la determinación del material particulado mediante métodos automáticos o continuos existen tres técnicas básicas, las mismas que se describen a continuación:

- Atenuación de rayos beta:** Esta técnica se basa en la respuesta óptica de una muestra del analito (Ej.: material particulado) a la radiación emitida por una fuente radiactiva (isótopo de C-14). De modo que, conforme vaya aumentando la masa de partículas en el filtro que contiene la muestra, irá atenuándose cada vez más el paso de la radiación beta. Esta relación es la que, finalmente, permite determinar la masa del analito, cuyo cálculo es usado



posteriormente por el equipo automático para establecer su concentración en microgramos por metro cúbico.

- **Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM, por sus siglas en inglés):** Esta técnica utiliza un filamento cónico que sostiene un filtro de 13 milímetros de diámetro, donde es colectada la muestra. Dicho filamento es sometido a una oscilación constante, cuya frecuencia se irá reduciendo conforme vaya aumentando la masa de partículas en el filtro. Esta relación inversa es la que, finalmente, permite calcular la masa del analito, la cual es usada posteriormente por el equipo automático para establecer su concentración en microgramos por metro cúbico.
- **Dispersión de la luz:** Esta técnica se basa en la respuesta de cada partícula del analito (por ejemplo, material particulado) a un haz de luz emitido a la corriente de aire que ingresa al equipo automático. En específico, la respuesta de reflexión al haz de luz, permite determinar el tamaño de cada partícula en función de su ángulo de reflexión, así como la cantidad de partículas presentes en la muestra. Por esa razón, estos sistemas son considerados también como contadores ópticos de partículas.

Una vez determinado el tamaño y número de las partículas, el equipo automático procede a calcular primero la masa del analito y, luego, su concentración en microgramos por metro cúbico.

D.3.2 Métodos automáticos para gases ambientales

Son técnicas que, de manera similar a los métodos automáticos para material particulado, succionan la muestra de aire, la cual en lugar de ser colectada en alguna sustancia absorbente (medio de colección), ingresa a una cámara de medición donde se aplican metodologías ópticas para la determinación del analito.

Con relación a estos métodos, cabe precisar que la concentración del analito en microgramos por metro cúbico se calcula dividiendo la masa (hallada en la cámara de medición) entre el volumen de la muestra.



A continuación, se presentan los métodos automáticos para gases ambientales que pueden ser aplicados para determinar la concentración de los parámetros del ECA para Aire:

Tabla 5. Métodos automáticos de la calidad del aire

Parámetro	Periodo	Método de referencia
Dióxido de Azufre (SO ₂)	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	1 hora	Quimioluminiscencia
Mercurio Gaseoso Total (MGT)	24 horas	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)
Monóxido de Carbono (CO)	1 hora / 8 horas	Infrarrojo No Dispersivo (NDIR)
Ozono (O ₃)	8 horas	Fotometría de Absorción Ultravioleta
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	24 horas	Fluorescencia Ultravioleta
Benceno (C ₆ H ₆)	anual	Cromatografía de gases

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM.

D.4 Sistemas híbridos

Los sistemas híbridos combinan diversas metodologías (pasivas, activas o automáticas) para determinar las concentraciones de los parámetros de calidad del aire. La utilización de estos sistemas depende, en gran medida, de los objetivos planteados en el programa o plan de monitoreo, así como de los recursos disponibles y la priorización de los parámetros de monitoreo a ser analizados.

Así, por ejemplo, en una red de monitoreo para la zona urbana de una ciudad, en la cual tanto los datos históricos como los inventarios de emisiones e indicios de modelación fotoquímica indican que los parámetros a priorizar son el material particulado (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y ozono troposférico (O_3), se puede priorizar la utilización de sistemas automáticos para el PM_{10} , $PM_{2.5}$ y O_3 , considerando la limitada disponibilidad de recursos; mientras que para otros parámetros relacionados, se podrían aplicar sistemas activos o pasivos, al no ser parámetros priorizados.

E. MÉTODOS DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE POR SU GRADO DE EXACTITUD

Los métodos de monitoreo, además de activos, pasivos o automáticos, pueden ser clasificados por su grado de exactitud en: **métodos de referencia o métodos equivalentes**¹⁵.

Los métodos de referencia (**FRM**, por sus siglas en inglés Federal Reference Method), de acuerdo con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (EPA, por sus siglas en inglés)¹⁶, son el “estándar técnico de oro” de los sistemas de monitoreo de la contaminación del aire, pues aseguran que los datos recolectados en diferentes sitios sean exactos y puedan ser comparables con los resultados obtenidos por diversas redes de monitoreo.

Por otro lado, a efectos de promover la innovación y el desarrollo de nuevas tecnologías, a nivel internacional se revisan, examinan y aprueban métodos equivalentes (**FEM**, por sus siglas en inglés de Federal Equivalent Method), los cuales presentan una exactitud similar a los FRM y se basan en tecnologías de muestreo y/o análisis diferentes¹⁷.



Debido a estas diferencias, es usual que cuando se comparan los resultados obtenidos por los métodos de referencia y los métodos equivalentes, se observe que los primeros demuestran una mayor exactitud. Sin embargo, cabe precisar que, a pesar de ello, tanto los métodos de referencia como los equivalentes son los únicos que permiten una validez adecuada para la comparación con los ECA para Aire.

Asimismo, se debe resaltar que para la aplicación de cualquier método de referencia o método equivalente es necesario tomar en cuenta las consideraciones técnicas, así como el nivel de incertidumbre, interferencia y fuentes potenciales de error, establecidos para cada uno de estos.

¹⁵ U.S. Environmental Protection Agency (consultado el 7 marzo de 2018). “EPA scientists develop Federal Reference & Equivalent Methods for measuring key air pollutants”. Disponible en: <https://www.epa.gov/air-research/epa-scientists-develop-federal-reference-equivalent-methods-measuring-key-air>. Revisar también: Hall, E. et al (2014). Integrating Sensor Monitoring Technology into the Current Air Pollution Regulatory Support Paradigm: Practical Considerations. American Journal of Environmental Engineering (DOI: 10.5923/j.ajee.20140406.02).

¹⁶ U.S. Environmental Protection Agency (consultado el 7 marzo de 2018). “EPA scientists develop Federal Reference & Equivalent Methods for measuring key air pollutants”. Disponible en: <https://www.epa.gov/air-research/epa-scientists-develop-federal-reference-equivalent-methods-measuring-key-air>.

¹⁷ *Idem*.



Puesto que, sin el adecuado manejo de dichos aspectos técnicos, no podría considerarse que el procedimiento de monitoreo ha sido llevado a cabo correctamente, perdiéndose así la garantía de la calidad de los resultados obtenidos con el método en cuestión.

Por otro lado, en adición a lo señalado, es importante que todo método de referencia o método equivalente cumpla con lo indicado en las NTP (Normas Técnicas Peruanas) correspondientes. En caso de no contarse con una NTP para el método en cuestión, se pueden realizar mediciones basadas en normas técnicas internacionales, siempre y cuando el método a aplicar cumpla con lo establecido en el presente documento y las normas técnicas internacionales correspondan a las consignadas en la Tabla 6.

E.1 Métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de material particulado (PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_{1})

E.1.1 Método de referencia

En el caso del material particulado, a nivel mundial, el método de referencia aprobado es el de **separación inercial/filtración (gravimetría)**. Este método ha sido adoptado por la normativa peruana mediante el Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, a través del cual se aprobaron los Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

Al respecto, durante la aplicación del referido método, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones técnicas relacionadas con el diámetro de la partícula a medir:

E.1.1.1 Material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 10 micras (PM_{10})

Durante el periodo de monitoreo, se debe contar con un mecanismo de registro de flujos de muestreo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad. Los flujos de muestreo deben configurarse en un rango de alto volumen ($1,13 \text{ m}^3/\text{min}$) o bajo volumen ($16,67 \text{ l}/\text{min} \approx 1 \text{ m}^3/\text{hora}$).

En el caso de los flujos de muestreo de alto volumen, el cabezal selectivo de entrada para el muestreador (ver Figura 4) debe permitir que el aire succionado sea capaz de ingresar de manera simétrica, sin verse afectado por la dirección del viento.

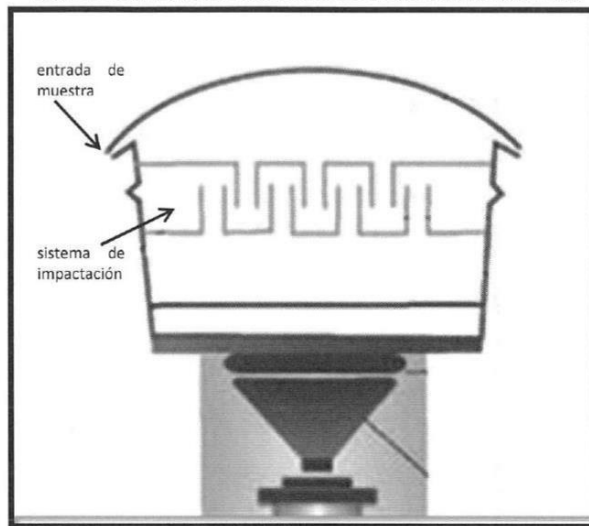
Una vez que el aire ingresa al sistema de impactación (compuesto por dos grupos de toberas), la velocidad del mismo aumenta conforme es transportado por el primer grupo de toberas, hasta desviarse al segundo grupo de toberas.

La desviación de una tobera hacia otra ocasiona la separación de las partículas mayores a 10 micras, las cuales impactan en la parte baja de la cámara del cabezal, mientras que las menores a 10 micras continúan su paso hacia el filtro colocado en el equipo para la colección de la muestra.





Figura 4. Esquema de un cabezal selectivo de alto volumen para PM₁₀



Fuente: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2008).

Para evitar el fraccionamiento y/o resuspensión de las partículas más gruesas, se debe aplicar una grasa siliconada en spray tipo Down Corning 316 o similar, en la plancha base (desmontable) de la cámara de impactación, siguiendo para tal efecto los procedimientos operativos estándar y manuales de fabricantes.

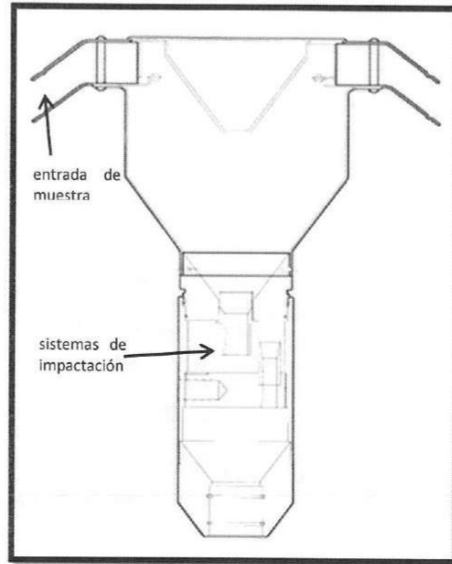


En el caso de los flujos de muestreo de bajo volumen, el cabezal selectivo de entrada para el muestreador (ver Figura 5) se diferencia del cabezal para un flujo de alto volumen, en el tamaño y la cantidad de las toberas, lo cual se debe al menor flujo de aire que ingresa para la toma de la muestra (16,67 l/min).

Debido a esta característica en particular no se requiere aplicar grasa siliconada o sustancia adherente alguna en la plancha base de la cámara de impactación, sino que únicamente debe realizarse una limpieza periódica.



Figura 5. Esquema de un cabezal selectivo de bajo volumen para PM₁₀



Fuente: EPA (2006).



E.1.1.2 Material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 2,5 micras (PM_{2,5})

Durante el periodo de monitoreo, se debe contar con un mecanismo de registro de flujos de muestreo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad. En este caso, los flujos de muestreo solo pueden configurarse en un rango de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora).

El sistema de separación de partículas en un muestreador de bajo volumen para PM_{2,5}, presenta dos etapas:

- **En la primera etapa**, se busca seleccionar las partículas con un tamaño menor a 10 micras (PM₁₀), conforme al procedimiento señalado en el apartado E.1.1.1 para flujos de bajo volumen.
- **En la segunda etapa**, las partículas menores a 10 micras son transportadas hacia un separador selectivo de PM_{2,5} tipo WINS (Well Impactor Ninety-Six) o tipo VSCC (Very Sharp Cut Cyclone), mediante los cuales se separan las partículas menores a 2,5 micras, para luego ser capturadas en el filtro de muestreo.



Los dos tipos de separador selectivo indicados, deben cumplir con lo establecido en el punto 7.3.4 de la NTP 900.069. "Monitoreo de Calidad Ambiental. Calidad del aire. Método de referencia para la determinación de material particulado fino como PM_{2,5} en la atmósfera".

E.1.1.3 Fracción gruesa del material particulado (PM_{10-2,5})

El método de referencia para la determinación de la fracción gruesa de material particulado, también llamada "coarse", se basa en una operación de diferencia aritmética entre el resultado del material particulado menor a 10 micras y el resultado del material particulado menor a 2,5 micras, los mismos que son obtenidos con dos equipos independientes, que deben cumplir con el respectivo método de referencia indicado en los apartados E.1.1.1 y E.1.1.2.

E.1.1.4 Material particulado con diámetro aerodinámico igual o menor a 1 micras (PM₁)

De forma similar al caso de los métodos de referencia para el material particulado menor a 10 ó 2,5 micras, se debe contar con un mecanismo de registro de flujos de muestreo que permita verificar la estabilidad de los mismos, durante el periodo de monitoreo.

Con relación a este método de referencia, cabe especificar que los flujos de muestreo solo pueden configurarse en un rango de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora). Asimismo, al igual que sucede con el procedimiento para el material particulado menor a 2,5 micras, el sistema de separación de partículas del muestreador de bajo volumen para PM₁ presenta dos etapas:



- En la **primera etapa**, se busca seleccionar las partículas con un tamaño menor a 10 micras (PM₁₀), conforme al procedimiento señalado en el apartado E.1.1.1 para flujos de bajo volumen.
- En la **segunda etapa**, las partículas menores a 10 micras son transportadas hacia un separador selectivo de PM₁ tipo SCC 2.229, mediante el cual se separan las partículas menores a 1 micra, para luego ser capturadas en el filtro de muestreo. El separador selectivo SCC 2.229 debe cumplir con el diseño y dimensiones establecidas en el artículo científico de R.A. Gussman et al (2001)¹⁸.

E.1.2 Métodos equivalentes

Los métodos equivalentes para material particulado se fundamentan en las tres técnicas básicas indicadas en el apartado D.3.1. Es decir, en la atenuación de rayos beta, la Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico y la dispersión de la luz, cuya aplicación se detalla a continuación, incluyendo el método a ser utilizado para el caso de la fracción gruesa del material particulado (PM_{10-2,5}):

E.1.2.1 Atenuación de rayos beta

Los flujos de aire deben basarse en la configuración de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora). Además, es necesario contar con un mecanismo de registro digital de flujo que permita verificar la estabilidad del mismo, durante el periodo de monitoreo.

¹⁸

Gussman, R. et al (2001). Design Calibration and Field Test of a Cyclone for PM-1 Ambient Air Sampling, Aerosol Science and Technology.



Para la entrada del aire, dependiendo del tamaño del material particulado de interés (PM_{10} , $PM_{2.5}$ o PM_1), debe utilizarse cabezales que cumplan con los criterios técnicos explicados en los apartados E.1.1.1 (PM_{10} - bajo volumen), E.1.1.2 ($PM_{2.5}$) y E.1.1.4 (PM_1). Asimismo, tomando en consideración la bibliografía técnico-científica de nivel internacional, los sistemas de medición que utilizan la atenuación de rayos beta deben contar con mecanismos que compensen o mitiguen el efecto de la interferencia ocasionada por la presencia de radón en el aire¹⁹.

Por otro lado, cabe precisar que si bien la aplicación de los métodos equivalentes y de referencia permite obtener resultados comparables con los ECA para Aire, es recomendable realizar pruebas de comparación entre el método equivalente de atenuación de rayos beta versus el método de referencia explicado en el apartado E.1.1, debido a que por la pérdida del material particulado volátil y semivolátil, a consecuencia de la calefacción de la línea de muestreo²⁰, las concentraciones halladas pueden diferir de las concentraciones reales. De modo que, sea posible utilizar un factor de corrección para las concentraciones halladas con este método.

Finalmente, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como método equivalente bajo la técnica de atenuación de rayos beta, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods",
- MCerts (Inglaterra), denominada "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o
- TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring"²¹.



Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo debe siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

E.1.2.2 Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)

Los flujos de aire deben basarse en la configuración de bajo volumen ($16,67 \text{ l/min} \approx 1 \text{ m}^3/\text{hora}$). Para la entrada del aire, dependiendo del tamaño del material particulado de interés (PM_{10} , $PM_{2.5}$ o PM_1), debe utilizarse cabezales que cumplan con los criterios técnicos explicados en los apartados E.1.1.1 (PM_{10} - bajo volumen), E.1.1.2 ($PM_{2.5}$) y E.1.1.4 (PM_1).

Luego de que el flujo de aire ingresa por el cabezal, éste se divide en dos líneas de flujo: una principal de 3 l/min y otra auxiliar de $13,67 \text{ l/min}$. Asimismo, a efectos de verificar la estabilidad de

¹⁹ Washington State Department of Ecology (2017). $PM_{2.5}$ and PM_{10} Beta Attenuation Monitor Operating Procedure. Air Quality Program. Véase también: US-Environmental Protection Agency (1999) Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air, Chapter IO-1. Continuous measurement of PM_{10} suspended particulate matter (SPM) in ambient air - overview. Cincinnati, OH 45268. Véase también: Department of Environment and Conservation of Western Australia (2009). Ambient monitoring of Particulate Matter in Kalgoorlie 2006-2007 (Technical report).

²⁰ Takahashi K, Minoura H. and Sakamoto K. (2008). Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter. Atmospheric Environment Journal. Véase también: Shin S, Jung Ch. and Kim Y (2011). Analysis of the Measurement Difference for the PM_{10} Concentrations between Beta-ray Absorption and Gravimetric Methods at Gosan. Aerosol and Air Quality Research Journal.

²¹ En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring). Ver: <https://qa1.de/en/komponenten.htm>



ambas líneas de flujo, es necesario contar con un mecanismo de registro digital durante el periodo de monitoreo.

En adición a lo anterior, cabe precisar que si bien la aplicación de los métodos equivalentes y de referencia permite obtener resultados comparables con los ECA para Aire, es recomendable realizar pruebas de comparación entre el método equivalente de Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM) versus el método de referencia explicado en el apartado E.1.1, debido a que por la pérdida del material particulado volátil y semivolátil, a consecuencia de la calefacción de la línea de muestreo, las concentraciones halladas pueden diferir de las concentraciones reales²². De modo que, sea posible utilizar un factor de corrección para las concentraciones halladas con este método.

Al respecto, se debe tomar en consideración que la temperatura de calefacción de la línea de muestreo en un TEOM suele ser mayor a la de un sistema de atenuación de rayos beta, por lo que la pérdida del material particulado volátil y semivolátil es también mayor. Asimismo, debido a que la fracción volátil y semivolátil tiene una mayor presencia en la medición de PM_{2,5}, es necesario el uso del sistema adicional denominado FDMS (por sus siglas inglés, Filter Dynamic Measurement System), el cual es de utilidad para reducir la pérdida de material particulado volátil y semivolátil.

Con relación al PM₁, cabe señalar que las interferencias ocasionadas por la pérdida de material particulado volátil y semivolátil, no permiten considerar al TEOM como un método equivalente para el monitoreo de este tamaño de material particulado, aun cuando se utilice el sistema adicional FDMS.

Finalmente, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como método equivalente bajo la técnica de Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada "*List of designated reference and equivalent methods*",
- MCerts (Inglaterra), denominada "*Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)*", o
- TUV (Alemania), denominada "*Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring*"²³.



Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo debe siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

E.1.2.3 Dispersión de la luz

Se recomienda que los flujos de aire se basen en una configuración de bajo volumen (16,67 l/min \approx 1 m³/hora). Sin embargo, es posible la aceptación de otras configuraciones de flujo para equipos que utilicen la dispersión de la luz, debido a que esta metodología no requiere de la separación selectiva de partículas. La única condición para su aplicación es que la entrada de muestreo en el cabezal sea omnidireccional.

²² William E. et al (2006). The Measurement of Fine Particulate Semivolatile Material in. Journal of the Air & Waste Management Association, 56:4, 384-397.

²³ En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring). Ver: <https://qal1.de/en/komponenten.htm>



Además de lo indicado, al igual que sucede con la técnica de atenuación de rayos beta, es necesario contar con un mecanismo de registro digital de flujo que permita verificar la estabilidad del mismo, durante el periodo de monitoreo.

En adición a lo anterior, cabe precisar que si bien la aplicación de los métodos equivalentes y de referencia permite obtener resultados comparables con los ECA para Aire, es recomendable realizar pruebas de comparación entre el método equivalente de dispersión de la luz versus el método de referencia explicado en el apartado E.1.1, debido a que por la pérdida del material particulado volátil y semivolátil, a consecuencia de la calefacción de la línea de muestreo, las concentraciones halladas pueden diferir de las concentraciones reales²⁴. De modo que, sea posible utilizar un factor de corrección para las concentraciones halladas con este método.

Finalmente, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como método equivalente bajo la técnica de dispersión de la luz, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada “*List of designated reference and equivalent methods*”,
- MCerts (Inglaterra), denominada “*Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)*”, o
- TUV (Alemania), denominada “*Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring*”²⁵.



Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo debe siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

E.1.2.4 Fracción gruesa del material particulado (PM_{10-2,5})

El método equivalente para la determinación de la fracción gruesa del material particulado, también llamada “*coarse*”, se basa en una operación de resta entre el resultado del material particulado menor a 10 micras y el resultado del material particulado menor a 2,5 micras, los mismos que son obtenidos utilizando un solo equipo o dos equipos independientes, que deben cumplir con cualesquiera de los métodos equivalentes indicados en los apartados E.1.2.1, E.1.2.2 y/o E.1.2.3.

E.2 Métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de dióxido de azufre

E.2.1 Método de referencia (Fluorescencia ultravioleta)

El método de referencia automático se basa en medir la respuesta de fluorescencia cuando se irradia con luz ultravioleta, en el orden de 190 nm - 230 nm, a la muestra de aire que ingresa al equipo conteniendo dióxido de azufre (SO₂), el cual absorbe la referida radiación para luego descargar energía fluorescente.

²⁴ Molenaar J. (revisado el 7 de marzo de 2018). Theoretical Analysis of PM_{2,5} Mass Measurements by Nephelometry - #110. Recuperado de http://vista.cira.colostate.edu/improve/publications/graylit/014_AerosolByNeph/AerosolbyNeph.pdf.

²⁵ En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring)



Posteriormente, la energía fluorescente emitida es detectada por un tubo fotomultiplicador que produce un voltaje proporcional a la intensidad de dicha energía, la cual es convertida a concentraciones de SO₂ por medio de factores de calibración²⁶, determinándose así la cantidad de esta sustancia en la muestra.

Una de las ventajas de este método de detección, es que el monitoreo a longitudes de onda comprendidas entre 190 nm y 230 nm presenta poca interferencia a otras sustancias que pueden estar presentes en el aire y que no corresponden a lo que se desea medir. Sin embargo, es importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de hidrocarburos:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo²⁷.
- En lo que respecta a la interferencia por la potencial presencia de hidrocarburos, en especial los llamados aromáticos polinucleares, es necesario que todo analizador de SO₂ que aplique el método de referencia por fluorescencia ultravioleta cuente con un eliminador de hidrocarburos (Hydrocarbon "kicker")²⁸. Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

Con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.



Finalmente, resulta pertinente anotar que en el mercado existen analizadores que, mediante mecanismos duales, permiten la medición alternada de SO₂ y H₂S. Sin embargo, para que estos se consideren como sistemas que aplican el método referencia explicado, deben cumplir lo señalado en los párrafos anteriores y tener bloqueada la configuración dual, de modo que únicamente estén dedicados a la determinación de las concentraciones de SO₂.

E.2.2 Métodos equivalentes

E.2.2.1 Pararrosanilina

Este método equivalente permite determinar la concentración del SO₂, mediante su absorción en una solución de tetracloromercurato de potasio (TCM). En específico, la muestra de SO₂ presente en el aire (que ingresa al equipo) reacciona con la solución de TCM, para luego formar un

²⁶ Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2008) Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. Colombia.

²⁷ Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5° C durante el periodo de medición.

²⁸ US Environmental Protection Agency (2014). Fact sheet for trace level SO₂ monitoring method. Recuperado de <https://www3.epa.gov/ttnamti1/files/ambient/pm25/spec/so2sum2.pdf>.



compuesto estable de monoclorosulfonatomercurioso, el cual es posteriormente analizado en el laboratorio a fin de determinar la concentración del analito.

Los flujos de aire deben basarse en configuraciones de bajo volumen (entre 0,18 l/min y 0,22 l/min) y contar además con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad durante el periodo de monitoreo. Asimismo, la entrada de la muestra debe incluir un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

La temperatura interna del muestreador (donde se encuentra la sustancia absorbente) debe mantenerse entre 5 °C y 25 °C, para lo cual es necesario contar con un sensor que haga posible la medición y registro de su temperatura interna durante todo el periodo de monitoreo. Además de lo indicado, en caso la muestra no fuese analizada antes de las 12 horas posterior a finalizada la toma de muestra, se debe proceder a almacenarla a una temperatura entre 0 °C a 10 °C, hasta su análisis en laboratorio.

Por último, cabe señalar que en tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, se debe considerar como norma técnica la establecida por la EPA en el documento "40 CFR Appendix A-2 to Part 50 - Reference Method for the Determination of Sulfur Dioxide in the Atmosphere (Pararosaniline Method)".

E.2.2.2 Difusión pasiva

Como se ha indicado previamente, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. "MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales", la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. "Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales".



Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528 prevé en su Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del SO₂, es aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3. Por sus características, los muestreadores pasivos únicamente son aplicables a periodos de muestreo semanales o mensuales, no permitiendo la obtención de resultados comparables con ECA horarios, octohorarios o diarios.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada estación y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.



E.3 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación de monóxido de carbono

E.3.1 Método de referencia (Infrarrojo No Dispersivo - NDIR)

El método de referencia automático por Infrarrojo No Dispersivo incorpora un Filtro de Correlación de Gas (por sus siglas en inglés, GFC), el cual cuenta con un elemento rotatorio filtrante de gas, dividido en dos secciones: una que contiene monóxido de carbono (CO), y otra que presenta nitrógeno (N₂).

En un primer momento, se incide con radiación infrarroja sobre el elemento rotatorio filtrante de gas, la misma que, al pasar por la sección que contiene CO, es absorbida parcialmente por esta sustancia. La radiación infrarroja que logra sobrepasar el filtro conforma un haz de "referencia", que permite seleccionar las longitudes de onda que no se encuentran relacionadas con el CO.

Luego, en un segundo momento, la radiación infrarroja incide sobre la sección que contiene N₂, el cual, al ser una sustancia diferente, no absorbe las longitudes de onda específicas del CO que pasan por el filtro, hasta conformar un haz de "medición", que se verá atenuado por la cantidad de CO contenida en la muestra de aire.

Este mecanismo de determinación de un haz "referencia" y un haz de "medición", de manera alternada, permite una reducción significativa de la sensibilidad del equipo ante la presencia de otras sustancias que pueden estar presentes en el aire y que no corresponden a lo que se desea medir²⁹.

Además de las otras sustancias, es importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³⁰.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

Con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.



²⁹ Trieu-Vuong D. et al (2016). A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction.
³⁰ Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5° C durante el periodo de medición.



E.3.2 Método equivalente

En relación a los métodos equivalentes, es importante indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considera como métodos equivalentes para la determinación de monóxido de carbono, aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas:

- EPA (USA), denominada “*List of designated reference and equivalent methods*”,
- MCerts (Inglaterra), denominada “*Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)*”, o
- TUV (Alemania), denominada “*Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring*”³¹.

Las referidas listas deben ser consideradas en su versión más actualizada a la fecha de planificación del monitoreo. La ejecución del monitoreo debe siempre cumplir con las consideraciones técnicas establecidas por para cada equipo que forma parte de las mencionadas listas.

E.4 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación del dióxido de nitrógeno

E.4.1 Método de referencia (Quimioluminiscencia)

El método de referencia automático consiste en hacer reaccionar el NO de la muestra con el O₃ generado por el equipo. De esta manera, se forman moléculas de NO₂ inestables, las cuales, al buscar nuevamente su estado fundamental, emiten una cantidad de radiación quimioluminiscente que es proporcional a la concentración de NO presente en la muestra de aire.

El procedimiento descrito permite la cuantificación del NO y no del NO₂. Por esa razón, es necesario realizar luego el siguiente procedimiento complementario:

- La muestra de aire que contiene NO_x (NO₂ + NO), ingresa al equipo y pasa por un convertidor de molibdeno, el cual reduce el NO₂ a NO.
- Luego, el NO_x (NO reducido con el convertidor de molibdeno + NO) reacciona con el ozono generado por el equipo, originando moléculas de NO₂ inestables, las cuales, al buscar nuevamente su estado fundamental, emiten una cantidad de radiación quimioluminiscente que es proporcional a la concentración de NO_x presente en la muestra de aire.
- Posteriormente, para la determinación del NO₂, el analizador procede a calcular la diferencia aritmética del NO (identificado con el procedimiento inicial) y el NO_x (identificado con el presente procedimiento complementario).

En adición a lo indicado, es importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación, la generación de ozono o la presencia de partículas:



³¹

En el ámbito del alcance del presente protocolo, debe ser aplicada únicamente para los equipos de monitoreo de calidad ambiental del aire (ambient air monitoring)



- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³².
- Asimismo, en lo que respecta al generador de ozono, se debe incluir un *scrubber* o separador de gases interferentes a la entrada del mismo, así como un mecanismo que asegure el ingreso de gas seco al generador. Por otro lado, debido a que la generación de ozono no es controlada, es posible que excesos de ozono salgan del proceso de medición, por lo que es fundamental contar con un *scrubber* o separador de ozono a la salida del analizador o bomba de succión.
- Para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

Por último, con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

E.4.2 Métodos equivalentes

E.4.2.1 Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS)

El método equivalente automático, denominado Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS, por sus siglas en inglés), cuenta con una fuente de luz de banda ancha modulada a aproximadamente 430 nm, la cual se encuentra acoplada a una cavidad resonante óptica formada por dos espejos de alta reflectividad.

La muestra de aire con presencia de NO₂ ingresa a la cámara de análisis, en cuyo interior está la cavidad resonante óptica en la incide la luz de banda ancha, ocasionando el desplazamiento de las longitudes de onda que, al ser recibidas por un fotodetector, permiten determinar la concentración de NO₂, a partir de la relación proporcional que existe entre ésta y el referido desplazamiento³³.

Con relación al método explicado, resulta importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³⁴.



³² Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5° C durante el periodo de medición. Kebabian P., Herndon S. and Freedman A. (2005). Detection of Nitrogen Dioxide by Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy. Analytical Chemistry Journal.

³³ Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5° C durante el periodo de medición.

- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

En tanto el país no cuente con una NTP referida al método equivalente CAPS, se considerarán como sistemas de medición equivalentes aquellos que se encuentren en la lista de la EPA denominada "List of designated reference and equivalent methods", en su versión más actualizada, siempre que cumplan con las consideraciones técnicas establecidas por la EPA para cada equipo que forma parte de la mencionada lista.

E.4.2.2 Griess-Saltzman (Manual Activo)

El método equivalente por la reacción de Griess-Saltzman para medir NO_2 , involucra la absorción del mencionado gas en una solución de trietanolamina (TEA), para su análisis posterior en laboratorio, usando un reactivo que forme un compuesto azo-colorante.

Los flujos de aire deben basarse en configuraciones de bajo volumen (0,4 l/min) y contar además con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad durante el periodo de monitoreo (60 minutos). Asimismo, la entrada de la muestra debe incluir un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

La muestra debe ser analizada antes de los 45 minutos posteriores a la toma de muestra (o antes de las 5 horas en caso se haya adicionado acetona para retardar la pérdida de color)³⁵.



Los envases tanto para el traslado de la solución absorbente, el muestreo y el traslado de la muestra, deben ser de coloración ámbar para evitar la exposición de las soluciones y muestras a la luz solar, a efectos de garantizar su integridad.

Finalmente, cabe precisar que en tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, se toma como norma técnica la establecida por la ASTM en el documento "ASTM D1607 - 91(2018)e1 Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction)".

E.4.2.3 Arsenito de sodio (Manual Activo)

Este método equivalente involucra la absorción del NO_2 en una solución de hidróxido y arsenito de sodio, para su posterior análisis en laboratorio, usando un reactivo que forme un compuesto azo-colorante.

Los flujos de aire deben basarse en configuraciones de bajo volumen (0,2 l/min) y contar además con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar su estabilidad durante el periodo de monitoreo. Asimismo, la entrada de la muestra debe incluir un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

³⁵

ASTM D1607 - 91(2018)e1 Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction). Véase también: Lodge, James (1988). Methods of Air Sampling and Analysis - 3rd Edition.



Los envases tanto para el traslado de la solución absorbente, el muestreo y el traslado de la muestra, deben ser de coloración ámbar para evitar la exposición de las soluciones y muestras a la luz solar, a efectos de garantizar su integridad.

Con relación al presente método, es preciso indicar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considerarán como sistemas de medición equivalentes bajo el principio arsenito de sodio, aquellos que se encuentren en la lista de la EPA denominada “*List of designated reference and equivalent methods*”, en su versión más actualizada, siempre que cumplan con las consideraciones técnicas establecidas por la EPA para cada equipo que forma parte de la mencionada lista.

Al respecto, cabe señalar que los sistemas de medición equivalentes contemplados por la EPA, incorporan la necesidad de que el periodo de muestreo sea únicamente para 24 horas. Inclusive el Registro Federal de los Estados Unidos³⁶, indica que ninguno de los referidos métodos podrá ser aplicado para mediciones de corto plazo (1 hora).

E.4.2.4 Difusión pasiva

Como se ha indicado previamente, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. “MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales”, la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. “Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales”.

Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528 prevé en su Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del NO₂, es aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3. Por sus características, los muestreadores pasivos únicamente son aplicables a periodos de muestreo semanales o mensuales, no permitiendo la obtención de resultados comparables con ECA horarios, octohorarios o diarios.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada estación y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.

E.5 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación del ozono troposférico

E.5.1 Método de Referencia (Fotometría de absorción ultravioleta)

El método de referencia automático por fotometría de absorción ultravioleta se basa en el ingreso de la muestra de aire a una cámara óptica, en donde es sometida a una radiación incidente de rayos UV. El nivel de absorción de UV por parte de la muestra es proporcional a la concentración de ozono.

³⁶

Registro Federal de los Estados Unidos; Vol. 42, página 62972. Publicado el 14 de diciembre de 1977.



Para determinar el nivel de absorción de rayos UV, se cuenta con dos líneas de flujo por donde ingresa el aire de forma alternada, en dos momentos diferentes de seis segundos cada uno, conforme se explica a continuación:

- En un primer momento, el aire pasa por la primera línea de flujo, a través de un *scrubber* que separa el ozono de la muestra, para luego ser irradiada con rayos UV. La radiación incidente no absorbida es determinada mediante un fotodetector.
- En un segundo momento, la muestra pasa por la segunda línea de flujo, sin *scrubber* o separador de ozono, de manera que la radiación incidente se ve parcialmente absorbida por el ozono presente en la muestra.
- La diferencia logarítmica de los niveles de radiación incidente calculados en el primer y segundo momento, le permite al analizador automático determinar el nivel de absorción de UV y, por consiguiente, la concentración de ozono presente en la muestra.

Con relación al método explicado, resulta importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³⁷.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).



Con relación al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

Finalmente, es pertinente advertir que en tanto el país no cuente con una NTP para este método de referencia, se toma como norma técnica la establecida por la ISO en el documento "ISO 13964:1998 Air quality — Determination of ozone in ambient air — Ultraviolet photometric method".

E.5.2 Métodos equivalentes

E.5.2.1 Quimioluminiscencia

Este método equivalente por quimioluminiscencia consiste en hacer reaccionar el ozono de la muestra con el etileno generado por el equipo. La reacción entre ambas sustancias genera una radiación quimioluminiscente. La concentración de O₃ en la muestra es proporcional a la quimioluminiscencia generada.

³⁷

Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5° C durante el periodo de medición.



La principal desventaja de este método, en comparación con el método de referencia por fotometría de absorción UV, es que requiere la alimentación constante de etileno durante todo el periodo de monitoreo.

Con relación al método explicado, resulta importante tener especial cuidado en las interferencias potenciales del método ocasionadas por la temperatura de operación o la presencia de partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo³⁸.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

En lo que respecta al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

Por último, resulta pertinente destacar en tanto el país no cuenta con una NTP para este método equivalente, se toma como norma técnica la establecida por la ISO en el documento "ISO 10313:1993 Ambient air — Determination of the mass concentration of ozone — Chemiluminescence method".

E.5.2.2 Difusión pasiva

Como se ha indicado previamente, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. "MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales", la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. "Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales".



Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528 prevé en su Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del O₃, es aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3. Por sus características, los muestreadores pasivos únicamente son aplicables a periodos de muestreo semanales o mensuales, no permitiendo la obtención de resultados comparables con ECA horarios, octohorarios o diarios.

³⁸ Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5° C durante el periodo de medición.



Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada estación y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.

E.6 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación del sulfuro de hidrógeno

E.6.1 Método de Referencia (Fluorescencia ultravioleta)

Este método de referencia se basa en la conversión del sulfuro de hidrógeno (H_2S) a dióxido de azufre (SO_2)³⁹, el cual es analizado luego mediante el método de fluorescencia UV, siguiendo el procedimiento explicado en el apartado E.2.1.

La diferencia básica con el método para SO_2 radica en que antes del ingreso de la muestra a la cámara de medición, es necesario que el equipo realice las siguientes acciones:

- La muestra de aire debe pasar primero por un *scrubber* o separador de SO_2 .
- Luego, la muestra de aire debe ser expuesta a un convertidor de H_2S a SO_2 , que se mantenga a una temperatura entre 300 °C y 350 °C, para lograr una conversión eficiente.

De forma similar al caso del analizador para SO_2 , es importante tener especial cuidado en las potenciales interferencias ocasionadas por la temperatura o la presencia de hidrocarburos y partículas:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo⁴⁰.
- En lo que respecta a la interferencia por la potencial presencia de hidrocarburos, en especial los llamados Aromáticos Polinucleares, es necesario que el analizador de SO_2 por fluorescencia UV cuente con un eliminador de hidrocarburos (Hydrocarbon "kicker")⁴¹.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).



En lo que concierne al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

³⁹ Alberta Environment and Parks (2016). Air Monitoring Directive. Alberta, Government of Alberta. Véase también: Alberta Environment and Parks (2011). Standard Operating Procedure for Hydrogen Sulphide (H_2S) and Total Reduced Sulphur (TRS) detectors. Alberta, Government of Alberta.

⁴⁰ Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5° C durante el periodo de medición.

⁴¹ US Environmental Protection Agency (2014). Fact sheet for trace level SO_2 monitoring method.



Por otro lado, resulta pertinente anotar que en el mercado existen analizadores que, mediante mecanismos duales, permiten la medición alternada de SO_2 y H_2S . Sin embargo, para que estos se consideren como sistemas que aplican el método referencia explicado, deben cumplir lo señalado en los párrafos anteriores y tener bloqueada la configuración dual, de modo que únicamente estén dedicados a la determinación de las concentraciones de H_2S .

Finalmente, en tanto el país no cuente con una NTP para este método de referencia, se toma como procedimiento técnico adecuado el descrito en el presente apartado E.6.1.

E.6.2 Método equivalente

En el país no se cuenta con un método equivalente aprobado para la determinación del H_2S . Por esa razón, en tanto el país no cuente con una NTP para dicho método equivalente, pueden aplicarse métodos normalizados a nivel internacional, siempre que estos sean aplicables específicamente para la determinación del H_2S presente en el aire ambiente.

E.7 Métodos de referencia y métodos equivalentes para la determinación de plomo y/u otros metales pesados en PM_{10}

E.7.1 Método de referencia (Espectrofotometría de Absorción Atómica)

Este método de referencia para la medición de la concentración de plomo (Pb) u otros metales pesados en PM_{10} , se basa en: (i) el procedimiento de toma de muestras establecido en el apartado E.1.1.1, y (ii) en el análisis de laboratorio por espectrofotometría de absorción atómica.

Con relación al medio de colección, se recomienda la utilización de filtros de fibra de vidrio en razón a su bajo nivel de interferentes para el método de análisis. Sin embargo, en caso se utilicen otros medios filtrantes, se debe tener especial cuidado y contar con un mecanismo que reduzca las interferencias que pueden ser ocasionadas por la presencia de otros compuestos o elementos distintos a los que se pretende muestrear.

E.7.2 Métodos equivalentes

E.7.2.1 Inducción conductiva de plasma (ICP- OES / ICP-MS)

Este método de referencia para la medición de la concentración de plomo (Pb) u otros metales pesados en PM_{10} , se basa en: (i) el procedimiento de toma de muestras establecido en el apartado E.1.1.1, y (ii) en el análisis de laboratorio por inducción conductiva de plasma.



Sobre el particular, respecto al medio de colección, se pueden utilizar filtros de fibra de vidrio, cuarzo o politetrafluoroetileno (PTFE).

Finalmente, es preciso indicar que en tanto no se cuente con una NTP para este método equivalente, el procedimiento analítico debe ser realizado conforme a los métodos "IO-3.4 Determination of metals in ambient particulate matter using ICP spectroscopy" (para ICP-OES) y "IO-3.5 Determination of metals in ambient particulate matter using ICP mass spectrometry" (para ICP-MS).

E.7.2.2 Fluorescencia de rayos X

Este método equivalente para la medición de la concentración de Pb y/u otros metales pesados en PM₁₀, se basa en: (i) el procedimiento de toma de muestras establecido en el apartado E.1.1.1, y (ii) en el análisis de laboratorio por fluorescencia de rayos X. Con respecto al medio de colección, se deben utilizar filtros de politetrafluoroetileno (PTFE).

Al respecto, en tanto no se cuente con una NTP para este método equivalente, el procedimiento analítico para la determinación de Pb en PM₁₀ debe ser realizado conforme a lo indicado en el método "40 CFR Appendix Q to Part 50 - Reference Method for the Determination of Lead in Particulate Matter as PM₁₀ Collected From Ambient Air"; mientras que para otros metales pesados en PM₁₀ debe ser realizado conforme a lo indicado en el método IO-3.3 "Determination of metals in ambient particulate matter using X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy".

E.8 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación de mercurio gaseoso total

E.8.1 Métodos de referencia (CVAAS y CVAFS - Automáticos)

Los métodos de referencia para la medición de la concentración de mercurio gaseoso total (MGT) se basan en la toma de una muestra de aire, del cual se adsorbe el MGT a través de una trampa de oro. Luego, se realiza la desorción térmica del MGT adsorbido para que éste pueda ser analizado por Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS).

La desorción térmica (pirolisis) es fundamental pues permite que el Mercurio Gaseoso Reactivo (MGR) sea convertido a Mercurio Gaseoso Elemental (MGE)⁴². De esta manera, tanto el MGE adsorbido inicialmente, así como el MGR convertido a MGE, pasan a ser analizados por el método CVAAS o CVAFS, determinándose así la concentración de MGT presente en la muestra.

Al respecto, es importante considerar que algunos otros gases pueden generar interferencia, por lo que es necesario aplicar trampas selectivas⁴³. Así por ejemplo, un mecanismo para la eliminación de interferencias es la utilización del gas argón como gas de arrastre en el equipo de CVAFS, puesto que éste aumenta la sensibilidad del método⁴⁴.

Por otro lado, existe la posibilidad de que el MGR se adhiera a las paredes de las líneas de muestreo, de ahí que sea necesario que éstas presenten una temperatura mayor a la ambiental y que sean, además, lo más cortas posible⁴⁵.

Con la finalidad de lograr límites de detección lo suficientemente bajos, sin que se disminuya la eficiencia de adsorción de la trampa de oro, se recomienda que el tiempo de colección o muestreo antes de cada desorción sea mínimo de 5 minutos. Este tiempo puede estar sujeto a cambios en



⁴² Gustin M. et al (2015) Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal.

⁴³ NTP 900.068:2016 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total y NTP 900.068:2016/COR 1:2017 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total. CORRIGENDA 1.

⁴⁴ European Communities (2002). Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) Position Paper. ISBN 92-894-4260-3.

⁴⁵ Gustin M et al (2015). Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal.



función de las concentraciones de MGT que se tiene proyectado obtener, dadas las características de la zona de monitoreo.

Además de lo anterior, es importante tener especial cuidado en los siguientes aspectos:

- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

En lo que respecta al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

E.8.2 Métodos equivalentes

E.8.2.1 CVAAS con corrección Zeeman (Automático)

Este método equivalente permite únicamente la medición continua del MGE, sin la necesidad de contar con una trampa de oro⁴⁶. Por esa razón, luego de determinada la concentración de MGE, se debe realizar cálculos matemáticos adicionales para hallar la concentración del MGT, tal como se explica a continuación.



En principio, cabe indicar que los estudios o documentos técnico-científicos advierten que, en términos generales, los niveles de MGE predominan en un 90% del MGT presente en el aire ambiente ($MGE \geq 90\% MGT$)⁴⁷. Sin embargo, la presencia del MGE puede variar en función de la zona de estudio o monitoreo. Por ello, para la aplicación de este método equivalente se recomienda determinar previamente el porcentaje de MGE presente en el MGT de la zona de estudio o monitoreo, lo cual puede ser calculado mediante estudios de medición simultánea de MGT y MGE⁴⁸, que permitan, a su vez, conocer la relación geométrica existente entre ambos tipos de gases [MGT/MGE].

Con base en la citada relación, se pueden determinar los valores de MGT, luego de aplicar el factor de corrección (FC), hallado mediante la ecuación 1, a cada uno de los valores de MGE, conforme se muestra en la ecuación 2:

⁴⁶ NTP 900.068:2016 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total y NTP 900.068:2016/COR 1:2017 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total. CORRIGENDA 1.

⁴⁷ Fu X. et al (2009). Atmospheric total gaseous mercury (TGM) concentrations and wet and dry deposition of mercury at a high-altitude mountain peak in south China. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal. Véase también: Gustin M et al (2015) Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review. Atmospheric, Chemistry and Physics Journal. Global Mercury Observation System; así como: Liu G., Cai and O'Driscoll N. (2011). Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury. ISBN: 978-1-118-14663-7.

⁴⁸ Con un mínimo de 15 monitoreos diarios simultáneos.



Ecuación 1:
$$\text{Factor de corrección (FC)} = \frac{[MGT]}{[MGE]}$$

Ecuación 2:
$$[MGT] = FC \times [MGE]$$

En caso de no conocerse los niveles de MGE con respecto al MGT de la zona de estudio o monitoreo, los resultados obtenidos mediante el método CVAAS con corrección Zeeman se deben multiplicar por un factor de corrección de 1,2. De esta manera, se pueden reportar concentraciones de MGT sobre la base de las mediciones halladas a través de dicho método.

Por otro lado, es importante precisar que **no podrá utilizarse el presente método equivalente** cuando en el área asociada a la red o estación de monitoreo se presuma el aporte de emisiones de fuentes de mercurio gaseoso reactivo (MGR) o compuestos orgánicos de mercurio (por ejemplo: plantas de cloroálcali, centrales térmicas de carbón, incineradores de residuos, vertederos municipales, etc.). Tampoco podrá usarse este método en el caso de áreas influenciadas por corrientes de aire provenientes de zonas con mezcla marina⁴⁹.

Además de lo indicado anteriormente, se recomienda tener especial cuidado en los siguientes aspectos:



- En el caso de la temperatura de operación, el equipo debe operarse en un rango de temperatura entre 20 °C y 30 °C, a fin de garantizar el adecuado funcionamiento de los componentes electrónicos del equipo.
- Asimismo, para evitar el paso de partículas hacia los componentes internos del analizador, se debe utilizar un filtro de teflón (PTFE).

En lo que concierne al flujo de muestreo, cabe precisar que los analizadores de gases operan a diferentes rangos, los cuales en su mayoría se encuentran por debajo de 1 litro/min. Al respecto, a efectos de verificar que los flujos de aire se hayan mantenido constantes durante el periodo de monitoreo, se debe contar necesariamente con un mecanismo de registro digital de flujo.

E.8.2.2 CVAFS con muestreo activo

Este método equivalente se basa en la adsorción de una muestra de MGT del aire ambiente en dos trampas de oro, para luego realizar su desorción térmica y análisis por CVAFS en laboratorio.

Los flujos de muestreo en el presente método deben basarse en configuraciones de bajo volumen (0,3 l/min). Además, se debe contar: (i) con un mecanismo de registro de flujo (mecánico o digital) que permita verificar la constancia del mismo durante todo el periodo de muestreo; y, (ii) con un filtro para evitar el paso de partículas hacia el mecanismo de control de flujo.

⁴⁹ NTP 900.068:2016 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total y NTP 900.068:2016/COR 1:2017 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total. CORRIGENDA.



Finalmente, es preciso señalar que en tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, el procedimiento de muestreo y análisis debe ser realizado conforme a lo indicado únicamente para la fase de vapor de mercurio en el método IO-5: "Sampling and analysis for vapor and particle phase mercury in the air ambiente utilizando CVAFS".

E.9 Métodos de referencia y equivalentes para la determinación de Benceno (C₆H₆)

E.9.1 Método de referencia

E.9.1.1 Cromatografía de gases (automático)

Este método de referencia se basa en la colección de muestras de benceno en una o más trampas adsorbentes, que recolectan la sustancia de interés por ciclos que van de 15 a 60 minutos. Luego, el benceno capturado es sometido a una desorción térmica y transferido mediante un gas portador inerte a un cromatógrafo de gases interno, donde se determinan las concentraciones de esta sustancia.

Las trampas adsorbentes pueden estar constituidas de materiales como Tenax, Carbotrap, Carbosieves, entre otros. Asimismo, en algunos casos, las trampas también pueden estar constituidas por mezclas de materiales como los referenciados.

Por otro lado, respecto del gas portador, cabe puntualizar que este puede ser hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂) o helio (He); mientras que los detectores que utiliza el cromatógrafo de gases para determinar las concentraciones de benceno, pueden aplicar tanto la técnica de ionización de llama (FID) como la de fotoionización (PID), indistintamente.



Con relación a este método, se debe precisar que en tanto el país no cuente con una NTP, se considerará como norma técnica la establecida por el Comité Europeo de Normalización (CEN) en el documento "EN 14662-3:2015. Ambient Air quality - Standard Method For The Measurement Of Benzene Concentrations - Part 3: Automated Pumped Sampling With In Situ Gas Chromatography".

E.9.2 Métodos equivalentes

E.9.2.1 Cromatografía de gases (Manual activo)

Los métodos manuales activos equivalentes se basan en la colección, durante 24 horas, de una muestra de benceno en un medio adsorbente. Luego de que el benceno ha sido capturado, la muestra es trasladada a un laboratorio y sometida a una desorción térmica o química (con sulfuro de carbono), para después ser transferida, mediante un gas portador inerte, a un cromatógrafo de gases interno donde se determinan las concentraciones de benceno.

Las trampas adsorbentes pueden estar constituidas de materiales como Tenax, Carbotrap, Carbosieves, entre otros. Asimismo, en algunos casos, las trampas también pueden estar constituidas por mezclas de materiales como los referenciados.

Respecto del gas portador a ser utilizado, cabe puntualizar que éste puede ser hidrógeno (H₂), nitrógeno (N₂) o helio (He); mientras que los detectores que utiliza el cromatógrafo de gases para



determinar las concentraciones de benceno, pueden aplicar tanto la técnica de ionización de flama (FID) como la de fotoionización (PID), indistintamente.

En tanto el país no cuente con una NTP para este método equivalente, se considerarán como normas técnicas las establecidas por el CEN en los documentos:

- “EN 14662-1:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Part 1: Pumped sampling followed by thermal desorption and gas chromatography”.
- “EN 14662-2:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Part 2: Pumped sampling followed by solvent desorption and gas chromatography”.

E.9.2.2 Difusión pasiva

Como se ha indicado previamente, el país cuenta con la NTP 900.036:2017. “MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales”, la cual se basa en la Norma Europea EN 13528-1:2002. “Calidad del aire ambiente. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales”.

Al respecto, se ha advertido que la Norma Europea EN 13528 prevé en su Parte 2 y Parte 3, los requisitos específicos y métodos de ensayo, así como una guía para la selección, uso y mantenimiento de los muestreadores. En ese sentido, en tanto la NTP 900.036 no incorpore los aspectos antes indicados, el método equivalente por difusión pasiva para la medición del Benceno, es aquel que cumpla con lo señalado en la Norma Europea EN 13528, partes 1, 2 y 3. Por sus características, los muestreadores pasivos únicamente son aplicables a periodos de muestreo semanales o mensuales, no permitiendo la obtención de resultados comparables con ECA horarios, octohorarios o diarios.

Finalmente, otro aspecto a considerar es que, por cada estación y periodo de medición, debe tomarse como mínimo muestras por triplicado, con la finalidad de asegurar la calidad de los resultados.

E.10 Consolidado de métodos de referencia y equivalentes

Se presenta a continuación la Tabla 6, la cual consolida todos los métodos de referencia y equivalentes aplicables. Si bien la referida tabla presenta a modo de resumen cada uno de los métodos, su cumplimiento debe considerar cada uno de los criterios técnicos desarrollados en la sección “E” y en otras secciones del presente protocolo.





Tabla 6. Consolidado de métodos de referencia y equivalentes

N°	Sección	Parámetro	Tipo de método	Denominación genérica del método	Norma técnica correspondiente*
01	E.1.1.1	PM ₁₀	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	Norma Técnica Peruana: NTP 900.030, o NTP que la reemplace.
02	E.1.2.1		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	Aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas: <ul style="list-style-type: none"> EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", MCerts (Inglaterra), denominada "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring".
03	E.1.2.2			Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)	
04	E.1.2.3			Dispersión de la luz	
05	E.1.1.2	PM _{2.5}	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	Norma Técnica Peruana: NTP 900.069, o NTP que la reemplace.
06	E.1.2.1		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	Aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas: <ul style="list-style-type: none"> EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", MCerts (Inglaterra), denominada "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring".
07	E.1.2.2			Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)	
08	E.1.2.3			Dispersión de la luz	
09	E.1.1.4	PM ₁	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	E.1.1.1 (bajo volumen) + la aplicación de un separador selectivo de PM ₁ tipo SCC 2.229
	E.1.2.1		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	E.1.2.1 + la aplicación de un separador selectivo de PM ₁ tipo SCC 2.229
11	E.1.2.3			Dispersión de la luz	E.1.2.3 (no es necesaria la aplicación de ningún separador selectivo en particular).
12	E.1.1.3	Fracción gruesa o coarse (PM _{10-2.5})	Método de Referencia	Separación inercial/filtración (gravimetría).	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.1.1 y el resultado de E.1.1.2
13	E.1.2.4		Método Equivalente	Atenuación de rayos beta	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.2.1 (PM ₁₀) y el resultado de E.1.2.1 (PM _{2.5})
14	E.1.2.4			Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico (TEOM)	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.2.2 (PM ₁₀) y el resultado de E.1.2.2 (PM _{2.5})





N°	Sección	Parámetro	Tipo de método	Denominación genérica del método	Norma técnica correspondiente*
15	E.1.2.4			Dispersión de la luz	Diferencia aritmética entre el resultado de E.1.2.3 (PM ₁₀) y el resultado de E.1.2.3 (PM _{2.5})
16	E.2.1	SO ₂	Método de Referencia	Fluorescencia ultravioleta	Norma Técnica Peruana: NTP-ISO 10498, o NTP que la reemplace.
17	E.2.2.1		Método Equivalente	Pararosanilina	CFR Title 40, Part 50, Appendix A (Pararosaniline Method)
18	E.2.2.2			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3
19	E.3.1	CO	Método de Referencia	Infrarrojo No Dispersivo con Filtro de Correlación de Gas	Norma Técnica Peruana: NTP 900.031, o NTP que la reemplace.
20	E.3.2		Método Equivalente		Aquellos que se encuentren en una de las siguientes listas: <ul style="list-style-type: none"> EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods", MCerts (Inglaterra), denominada "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania), denominada "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring".
21	E.4.1	NO ₂	Método de Referencia	Quimioluminiscencia	Norma Técnica Peruana: NTP 900.033, o NTP que la reemplace.
22	E.4.2.1		Método Equivalente	Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase (CAPS)	EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods".
23	E.4.2.2			Griess-Saltzman (Manual activo)	ASTM D1607 - 91(2018)e1 Standard Test Method for Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction)
24	E.4.2.3			Arsenito de sodio (Manual Activo - únicamente aplicable a muestras de 24 horas)	EPA (USA), denominada "List of designated reference and equivalent methods"
25	E.4.2.4			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3
26	E.5.1	O ₃	Método de Referencia	Fotometría de absorción ultravioleta	ISO 13964:1998 Air quality — Determination of ozone in ambient air — Ultraviolet photometric method
27	E.5.2.1		Método Equivalente	Quimioluminiscencia	ISO 10313:1993 Ambient air — Determination of the mass concentration of ozone — Chemiluminescence method
28	E.5.2.2			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3





N°	Sección	Parámetro	Tipo de método	Denominación genérica del método	Norma técnica correspondiente*
29	E.6.1	H ₂ S	Método de Referencia	Fluorescencia ultravioleta	Procedimiento técnico descrito en el apartado E.6.1 del documento
30	E.6.2		Método Equivalente	-	Métodos normalizados a nivel internacional, siempre que estos sean aplicables específicamente para la determinación del H ₂ S presente en el aire ambiente.
31	E.7.1	Pb y otros metales en PM ₁₀	Método de Referencia	Espectrofotometría de Absorción Atómica	Norma Técnica Peruana: NTP 900.032, o NTP que la reemplace
32	E.7.2.1		Método Equivalente	Inducción conductiva de plasma (ICP- OES / ICP-MS)	<ul style="list-style-type: none"> • IO-3.4 "Determination of metals in ambient particulate matter using ICP spectroscopy" (para ICP-OES) • IO-3.5 "Determination of metals in ambient particulate matter using ICP mass spectrometry" (para ICP-MS)
33	E.7.2.2			Fluorescencia de rayos X	<ul style="list-style-type: none"> • CFR Title 40, part 50, Appendix Q (Pb en PM₁₀). • IO-3.3 "Determination of metals in ambient particulate matter using X-ray fluorescence (XRF) spectroscopy" (otros metales en PM₁₀).
34	E.8.1	MGT	Método de Referencia	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío (CVAAS) o Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío (CVAFS)	Norma Técnica Peruana: NTP 900.068, o NTP que la reemplace
35	E.8.2.1		Método Equivalente	CVAAS con corrección Zeeman (Automático)	Norma Técnica Peruana: NTP 900.068, o NTP que la reemplace
36	E.8.2.2			CVAFS con muestreo activo	IO-5: "Sampling and analysis for vapor and particle phase mercury en el aire ambiente utilizando CVAFS"
37	E.9.1.1	C ₆ H ₆	Método de Referencia	Cromatografía de gases (automático)	EN 14662-3:2015. Ambient Air - Standard Method For The Measurement Of Benzene Concentrations - Part 3: Automated Pumped Sampling With In Situ Gas Chromatography.





N°	Sección	Parámetro	Tipo de método	Denominación genérica del método	Norma técnica correspondiente*
38	E.9.2.1		Método Equivalente	Cromatografía de gases (Manual activo)	<ul style="list-style-type: none"> EN 14662-1:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Pumped sampling followed by thermal desorption and gas chromatography. EN 14662-2:2005. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Pumped sampling followed by solvent desorption and gas chromatography.
39	E.9.2.2			Difusión pasiva	Norma Europea EN 13528.- partes 1, 2 y 3

Fuente: Indicada en la columna Norma técnica correspondiente / Elaboración propia (2018).

*Para el caso de las normas técnicas que no son NTP, éstas permanecerán como método de referencia o equivalente hasta que se cuente con una NTP que la reemplace en su totalidad.

F. CRITERIOS PARA LA SELECCIÓN DE LOS MÉTODOS DE MEDICIÓN

En primer lugar, para la selección de los métodos de medición, se debe identificar la variabilidad de las concentraciones de los parámetros a medir en la zona de estudio. Por ejemplo, para el caso de zonas de estudio con una influencia predominante de emisiones vehiculares, las concentraciones de material particulado podrían tener una alta variabilidad en aquellas horas en las que se presenta un mayor tráfico vehicular. Por lo que, en este caso, se debe usar métodos automáticos, puesto que solo así se podrá determinar la evolución horaria de las concentraciones.



Al respecto, cabe señalar que la variabilidad de las concentraciones de los parámetros depende de las características que presenten las fuentes vinculadas al área de una red o estación de monitoreo por ejemplo: emisiones vehiculares, procesos industriales continuos o discontinuos, entre otros).

Además de la referida variabilidad, se debe tomar en consideración el tipo de información que se pretende obtener, en función de los siguientes casos:

- Que se requiera analizar cambios en la calidad del aire a nivel horario y de manera continua, indistintamente de si se busca o no reportar la información en tiempo real.
- Que se requiera analizar las concentraciones con base en un promedio integrado del día, fracción del día (hora u 8 horas) o periodos más extensos (mensual o anual), siempre que no se busque reportar la información en tiempo real.

A partir de la aplicación de estos dos casos, a continuación se muestran los métodos que deben seleccionarse:



Tabla 7. Criterios para la selección de métodos de medición

Requerimiento temporal de la información	Enfoque del monitoreo	Consideraciones generales	Método a seleccionar	Aspectos a considerar
Continuo, a nivel horario y en tiempo real	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire. Monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental. 	Presupuesto suficiente/ disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Método de referencia o equivalente automático	Los resultados obtenidos pueden ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
		Presupuesto limitado/ dificultades respecto de la disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Procedimiento alternativo automático	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se pueden comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios. 	La información generada es utilizada para los reportes de monitoreo vinculados a instrumentos de gestión ambiental.	Método de Referencia o equivalente automático	Los resultados obtenidos pueden ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
		La información generada es utilizada para controles internos.	Procedimiento alternativo automático	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se pueden comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
Referida al día, fracción de día o periodos más extensos	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo vinculado a planes de acción para la mejora de la calidad del aire. Monitoreo orientado a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental. 	Presupuesto suficiente/ disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Método de referencia o equivalente manual (activo o Pasivo)	Los resultados obtenidos pueden ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
		Presupuesto limitado/ dificultades respecto a la disponibilidad de energía eléctrica, seguridad y accesibilidad.	Método alternativo manual (activo o pasivo)	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se pueden comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.
	<ul style="list-style-type: none"> Monitoreo en áreas asociadas a actividades extractivas, 	La información generada es utilizada para los reportes de monitoreo vinculado a instrumentos de	Método de referencia o equivalente manual (activo o	Los resultados obtenidos pueden ser comparados con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los





Requerimiento temporal de la información	Enfoque del monitoreo	Consideraciones generales	Método a seleccionar	Aspectos a considerar
	productivas y de servicios.	gestión ambiental.	Pasivo)	ECA correspondientes (siempre que el periodo de toma de muestra sea el mismo que el establecido para el ECA vigente).
		La información generada es utilizada para controles internos.	Método alternativo manual (activo o pasivo)	Salvo se cumpla lo indicado en el capítulo G del presente protocolo, los resultados obtenidos no se pueden comparar con los resultados de otras redes (con métodos de referencia o equivalentes), así como con los ECA correspondientes.

Fuente: Elaboración propia (2018).

En caso los resultados se vayan a comparar con su correspondiente valor ECA, se debe verificar que los límites de detección y cuantificación del método a seleccionar sean iguales o menores al 20% del valor ECA. Este aspecto es fundamental para evaluar el cumplimiento del ECA, así como la evolución de las concentraciones de los distintos parámetros.

G. ANÁLISIS PARA LA APLICACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE MEDICIÓN ALTERNATIVOS

La utilización de procedimientos de medición alternativos⁵⁰ es posible en los siguientes casos:

- Monitoreos vinculados a planes de acción para la mejora de la calidad del aire.
- Monitoreos orientados a la prevención/evaluación de riesgos en salud ambiental.
- Monitoreos en áreas asociadas a actividades extractivas, productivas y de servicios, únicamente cuando se busque generar información para controles internos.



Al respecto, es preciso indicar que cuando se pretenda utilizar la información de calidad del aire para reportes de monitoreo ambiental vinculados a instrumentos de gestión ambiental (Estudio de Impacto Ambiental, Programa de Adecuación y Manejo Ambiental, Declaración de Impacto Ambiental, entre otros), se deben aplicar necesariamente los métodos de referencia o equivalentes indicados en el capítulo E del presente protocolo, no siendo posible el uso de procedimientos de medición alternativos.

Por otro lado, en cuanto a los resultados obtenidos con procedimientos alternativos, cabe indicar que estos solo pueden ser comparados con los ECA correspondientes siempre que se cumplan las siguientes condiciones:

⁵⁰

Se consideran procedimientos de medición alternativos a los siguientes:

- Medición con sensores de bajo costo (Low cost sensors).
- La aplicación de técnicas de sensoramiento remoto.
- La aplicación de modelos de dispersión atmosférica.
- Procedimientos de medición que no se adecúen al método de referencia o equivalente.
- Métodos validados con o sin referencia de normas internacionales.
- Otros que no cuenten con normas técnicas nacionales o internacionales.



- Las **pruebas de intercomparación** entre los métodos de referencia o equivalentes y los procedimientos alternativos, hayan resultado satisfactorias.
- El diseño experimental y los criterios de aceptabilidad de las pruebas de intercomparación deben basarse en las recomendaciones del documento técnico de la EPA (2011) *“Reference and equivalent method applications. Guidelines for applicants”* y el documento técnico *“40 CFR Part 53 - AMBIENT AIR MONITORING REFERENCE AND EQUIVALENT METHODS”*.
- Que sea posible aplicar los **criterios de aseguramiento y control de calidad** establecidos en el presente protocolo.

Cuando se ejecute una o más pruebas de intercomparación para probar un procedimiento alternativo (llamado **“método candidato”** por la guía de EPA), se deben seguir los siguientes pasos:

- (i) El proponente debe presentar a la Dirección General de Calidad Ambiental (DGCA) del MINAM su propuesta de diseño experimental para la prueba de intercomparación.
- (ii) La DGCA, en coordinación con el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), evaluará el diseño experimental y los criterios de aceptabilidad presentados por el proponente. En el marco de esta evaluación, se pueden formular observaciones al diseño, las cuales deben ser subsanadas por el proponente.
- (iii) Si como resultado de la evaluación se aprueba el diseño experimental, el proponente podrá iniciar las pruebas de intercomparación aplicando el diseño aprobado.
- (iv) La DGCA puede participar, en calidad de observador, de todas las fases de la prueba de intercomparación. Para tal efecto, el proponente brindará las facilidades de accesibilidad y seguridad que resulten necesarias.
- (v) Una vez finalizada la prueba de intercomparación, el proponente remitirá un informe final de resultados a la DGCA, incluyendo toda la información, documentación y cálculos que permitan definir si se logró o no el cumplimiento de los criterios de aceptabilidad.
- (vi) En caso las pruebas de intercomparación no logren cumplir con los criterios de aceptabilidad, la DGCA archivará la solicitud del proponente, previo informe técnico⁵¹.
- (vii) En caso se cumpla con los criterios de aceptabilidad, la DGCA aprobará el uso del procedimiento alternativo, previo informe técnico, que además del sustento de su aprobación, debe precisar aquellos aspectos que limiten su aplicación (como por ejemplo, las limitaciones por la estacionalidad, la condición climática o ámbito geográfico, las fuentes potenciales de error, entre otros).



⁵¹ Ello no impide que el proponente pueda presentar, en el futuro, otra solicitud para pruebas de intercomparación con el mismo procedimiento alternativo.

Los resultados de diversas pruebas de intercomparación pueden constituir insumos para futuras propuestas de formulación y aprobación de NTP de métodos de medición de calidad del aire. De esta manera, el protocolo toma en consideración el potencial desarrollo y la mejora de técnicas de monitoreo que pudieran ser incorporadas en el conjunto de métodos de referencia y equivalentes nacionales.

H. SELECCIÓN DEL MÉTODO DE MEDICIÓN PARA OTROS PARÁMETROS QUE NO CUENTAN CON ECA ESTABLECIDO

De requerirse la medición de contaminantes que no cuenten con un ECA establecido ni métodos de referencia o métodos equivalentes nacionales, se deben considerar los siguientes criterios para seleccionar el método de medición más idóneo:

- (i) Si se cuenta con un método estandarizado aplicable al aire ambiente, a través de una norma técnica internacional, se debe priorizar la aplicación de dicho método frente a cualquier otra opción.
- (ii) Si por limitaciones presupuestales y/o logísticas o por razones de no disponibilidad tecnológica a nivel nacional, no fuera posible aplicar el método estandarizado al que se refiere el punto (i), se pueden usar métodos desarrollados por manuales técnicos, siempre que cuenten con al menos tres artículos científicos que hagan referencia a su aplicación para el aire ambiente.
- (iii) El método seleccionado conforme a los puntos (i) y (ii) debe permitir la aplicación de los criterios de aseguramiento y control de calidad establecidos en el presente protocolo.



Debido a que, en este caso, se trata de contaminantes que no cuentan con un ECA establecido, los resultados de las mediciones realizadas pueden ser comparados, a manera referencial, con valores guías internacionales o similares. Para tal efecto, se debe considerar necesariamente las recomendaciones metodológicas que hayan sido establecidas en el documento técnico que aprueba el valor guía utilizado.

I. CRITERIOS TÉCNICOS Y REQUISITOS AUXILIARES PARA LA INSTALACIÓN DE ESTACIONES DE MONITOREO DE LA CALIDAD DEL AIRE

I.1 Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo

Para realizar la instalación de los equipos de monitoreo de calidad del aire, en adición a los criterios establecidos en la sección C.2, se deben considerar determinadas alturas y distancias, conforme se explica en la siguiente tabla:



Tabla 8. Criterios técnicos para la instalación de los equipos de monitoreo

Características	Criterios técnicos	Otros aspectos a considerar
Altura de la entrada de la muestra (sobre el suelo).	Mínimo 1,5 m y máximo 15 m.	De 1,5 m a 4 m se considera lo más adecuado, considerando que la medición está orientada a la calidad del aire que respiramos.
Distancia horizontal con respecto a obstáculos más altos que el equipo de monitoreo.	Mayor o igual a 2,5 veces la diferencia de las alturas (altura del obstáculo - altura de la entrada de la muestra).	Se consideran obstáculos a cualquier barrera física como paredes, edificaciones, árboles, entre otros.
Distancia horizontal respecto de fuentes de emisión cercanas.	Mayor o igual a 20 m; o desde los linderos hacia el exterior, en el caso de actividades extractivas, productivas o de servicios ubicadas en zonas urbanas.	Si la estación de monitoreo utiliza la energía eléctrica de un motor a combustión (grupo electrógeno), este debe encontrarse alejado como mínimo a 50 m al sotavento de la estación.
Distancia horizontal entre dos equipos de monitoreo en la misma estación.	Mayor o igual a 2 m, cuando uno de los equipos de monitoreo utilice flujos mayores a 200 litros por minuto.	
	Mayor o igual a 1 m, cuando ambos equipos de monitoreo utilicen flujos menores o iguales a 200 litros por minuto.	
Restricciones de flujo de aire hacia la estación de monitoreo.	La estación de monitoreo debe estar ubicada de tal manera que los obstáculos no eviten el ingreso de flujos de aire en al menos 3 de los 4 cuadrantes (Norte, Oeste, Este y Sur).	Una mayor restricción de flujos de aire libre pudiera afectar la representatividad espacial de la estación de monitoreo.

Fuente: Alberta Environment and Parks (2016).

Esta distancia mínima no es de aplicación respecto de las actividades de comercialización de hidrocarburos, siempre que se asegure que la ubicación de la estación no afectará el cumplimiento del objetivo de monitoreo.



En general, los criterios técnicos indicados en la Tabla 8, deben ser cumplidos para asegurar la confiabilidad de los resultados. Sin embargo, excepcionalmente, de presentarse dificultades por razones de accesibilidad, seguridad, disponibilidad de energía eléctrica u otros factores, los equipos de monitoreo pueden ser instalados aunque no se cumpla con exactitud alguno de los criterios indicados, siempre que se asegure que la ubicación de la estación no afectará el cumplimiento del objetivo de monitoreo, lo cual debe ser sustentado con documentación técnica.



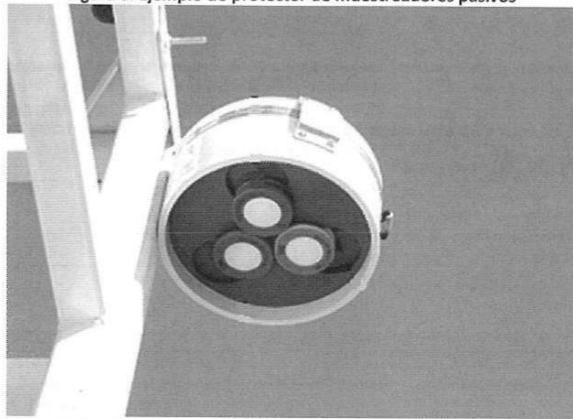
I.2 Requisitos auxiliares para la instalación de los equipos de monitoreo

I.2.1 Para los sistemas pasivos

Los muestreadores pasivos no requieren energía para la colección de la muestra y pueden prescindir de los elementos comunes de seguridad, puesto que al elevar la altura de instalación es posible evitar cualquier problema de seguridad.

Por otro lado, para que la difusión molecular pasiva no se vea afectada por la velocidad del viento, se debe utilizar protectores como los que se muestra en la Figura 6, los cuales también permiten la protección de los muestreadores ante la presencia de lluvias.

Figura 6. Ejemplo de protector de muestreadores pasivos



Fuente: Alberta Environment and Parks (2018).

I.2.2 Para los sistemas activos

En el caso de los muestreadores manuales activos, estos sí requieren de energía eléctrica para su funcionamiento por lo que la estación debe ser provista de la misma de manera continua y sin interrupciones durante el periodo de toma de muestra.

La llegada de energía eléctrica debe permitir y asegurar la estabilidad del voltaje, por lo que se recomienda la utilización de estabilizadores de voltaje o equipos UPS (Unit Power Supply). De igual manera, todo cableado tanto de la infraestructura como de los equipos debe ser del tipo de cable blindado y del número adecuado en relación al amperaje que requieren los equipos de medición.

Debido al mayor costo de los equipos de muestreo activos, puede ser necesario contemplar mecanismos de seguridad y requerirse el uso de cercos para evitar el ingreso de personas ajenas a las labores de monitoreo. En este caso, debe tenerse especial cuidado que el cerco a instalar no constituya un obstáculo ni afecte el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos en el acápite I.1 del presente protocolo.



I.2.3 Para los sistemas automáticos

- **Disponibilidad de energía eléctrica y seguridad**

Los equipos de monitoreo automático deben ser provistos de energía eléctrica de manera continua y sin interrupciones durante el periodo de toma de muestra. La llegada de energía eléctrica debe permitir y asegurar la estabilidad del voltaje, por lo que se recomienda la utilización de estabilizadores de voltaje o equipos UPS (Unit Power Supply). De igual manera, todo cableado tanto de la infraestructura como de los equipos debe ser del tipo de cable vulcanizado y del número adecuado en relación al amperaje que requieren los equipos de medición.

Debido al alto costo de los equipos automáticos, puede ser necesario contemplar mecanismos de seguridad y requerirse el uso de cercos para evitar el ingreso de personas ajenas a las labores de monitoreo. En este caso, debe tenerse especial cuidado que el cerco a instalar no constituya un obstáculo ni afecte el cumplimiento de los criterios técnicos establecidos en el acápite I.1 del presente protocolo.

- **Climatización**

Es necesario instalar los equipos dentro de una caseta cerrada que cumpla con contar con un ambiente tipo oficina y libre de polvo, con un sistema de climatización que permita mantener una temperatura al interior de la caseta entre 20 °C y 30 °C⁵².

- **Toma de muestras**

Las tomas de muestras deben estar construidas con materiales inertes (vidrio de borosilicato, politetrafluoroetileno (PTFE), aluminio o acero inoxidable calidad 316), de tal manera que se eviten procesos físicos o reacciones químicas, puesto que de lo contrario puede ocurrir subestimaciones o sobre estimaciones de ciertos contaminantes. Por ejemplo, para evitar la pérdida de partículas a lo largo de la línea de muestreo, en el caso de los cabezales y tubos de muestreo para los monitores de material particulado, debe utilizarse aluminio o acero inoxidable 316.

En el caso de gases ambientales, algunos de ellos pueden presentarse como más reactivos que otros. Por lo que, si la toma de muestras (manifold) va a ser utilizada para el ingreso de muestras hacia analizadores para O₃, SO₂ y NO₂, entonces el material del manifold debe ser de vidrio de borosilicato o PTFE, además de utilizar los puertos más cercanos a la entrada del manifold.



Por otro lado, cuando la toma de muestras (manifold) vaya a ser utilizada para el ingreso de muestras hacia analizadores para benceno u otros COV, entonces el material del manifold debe ser de vidrio de borosilicato o acero inoxidable.

El tiempo de residencia⁵³ desde la entrada del manifold hasta la entrada de cada analizador, no debe ser mayor a 20 segundos, por lo que puede ser necesario utilizar un "blower" o bomba de

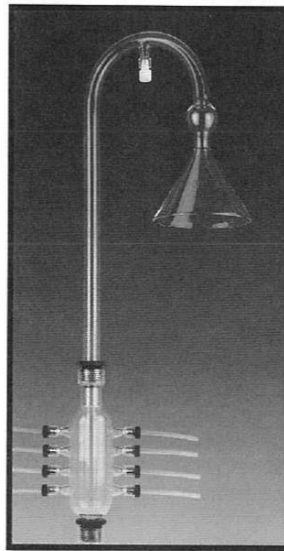
⁵² Esto resulta aplicable salvo que una de las siguientes listas de la EPA (US) "List of designated reference and equivalent methods", o MCerts (Inglaterra) "Continuous ambient air monitoring systems (CAMS)", o TUV (Alemania) "Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring", en su versión más actualizada, indique lo contrario. Sin perjuicio de ello, se deberá asegurar siempre que la temperatura del ambiente interno donde opera el equipo no varíe en más de 5 °C durante el periodo de medición.



vacío para reducir el tiempo de residencia. Sin embargo, el flujo de aire que pase a través del manifold, no debe ser tan alto como para ocasionar que la presión adentro del manifold sea una pulgada de agua menor que la presión ambiental.

La altura de la entrada de muestras sobre el techo del cual se proyecta, debe ser mínimo de 1 metro para el manifold de gases y de 1,8 metros para los cabezales de material particulado. Ambos tipos de tomas de muestras deben tener trampas de humedad y sistemas de calefacción que permitan mantener el aire muestreado a una temperatura de 3 °C por encima de la temperatura ambiental, debido a que una potencial condensación puede dañar los componentes de los equipos.

Figura 7. Ejemplo de manifold para toma de muestras de gases



Fuente: Ace Glass Incorporated (2017).



53

El método para calcular el tiempo de residencia es el presentado en el documento de la USEPA "Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems (Volume II) Ambient Air Quality Monitoring Program - Appendix F: Sample Manifold Design for Precursor Gas Monitoring".



Figura 8. Ejemplo de toma de muestras de partículas



Fuente: JICA (2004)

1.3 Monitoreo meteorológico

El monitoreo meteorológico es fundamental y necesario en todo monitoreo de la calidad ambiental del aire. De hecho, en función de la escala y finalidad proyectada, puede requerirse una o más estaciones meteorológicas para la red de monitoreo de calidad del aire que se busca implementar. Como mínimo, toda red o estación de monitoreo de calidad del aire debe contar, por lo menos, con una estación meteorológica, la cual debe ser una estación meteorológica automática con capacidad de reporte a una resolución horaria.

Las variables meteorológicas intervienen en la dispersión, deposición y transporte de los contaminantes, asimismo sus datos permiten orientar su interpretación. La estación meteorológica debe incorporar instrumentos que permitan la medición de las siguientes variables:

- Velocidad y dirección del viento superficial.
- Humedad relativa del aire.
- Presión atmosférica.
- Temperatura del aire.
- Precipitación.



Si se cuentan con recursos suficientes, se sugiere incluir también otros instrumentos para medir la radiación solar. La instalación y ejecución del monitoreo meteorológico debe realizarse cumpliendo los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el SENAMHI, en adición a los requerimientos indicados en las Tablas 9 y 10 del presente protocolo.



Tabla 9. Requerimientos técnicos para estaciones meteorológicas orientadas al monitoreo de calidad del aire

Parámetro	Instrumento y/o elemento sensible y/o sensor	Unidad	Símbolo	Rango	Resolución
Temperatura Ambiental	Temistor o Termocupla o Termoresistores metálicos	grado Celsius	°C	-40 a 60	0,1
Humedad Relativa	Transductores de tipo condensadores	porcentaje	%	0 a 100	1 %
Velocidad de Viento	Cazoletas, Propeller (hélice) o sónico	metro por segundo	m/s	0,5 a 50,0	0,5
Dirección de Viento	Veleta o sónico	grado	°	0 a 360	1,0
Radiación Solar	Piranómetro	watt por metro cuadrado	W/m ²	0 a 1100	10
Precipitación	Tipping bucket (balancín)	milímetro por hora	mm	0 a 500	0,2
Presión Atmosférica	Transductores que emplean elementos de silicio o condensadores	hectopascal	hPa	500 - 1050	0,1

Fuente: EPA (2008) // SENAMHI (2013).

Tabla 10. Requerimientos Técnicos para la instalación de estaciones meteorológicas

Parámetro	Distancia de un obstáculo	Altura sobre el suelo	Comentarios
Dirección/Velocidad de Viento	10 veces la altura de un obstáculo	10 m	
Temperatura Ambiental/ Humedad Relativa	1,5 veces el diámetro de la torre	1,25 m - 2 m	La superficie no debe ser de preferencia, ni concreto, asfalto o similares. La reflexión de este tipo de superficies pudiera afectar la medición. Estos sensores deben estar cubiertos dentro de un protector contra radiación y no estar instalados en contacto con la luz solar, precipitación, rocío y viento.
Radiación Solar	2 m	2 m - 10 m	Debe ser instalado evitando la ocurrencia de sombra sobre el sensor.
Presión Atmosférica	1 m	1,5 m - 2 m	Debe contar con temperatura uniforme y constante. Debe evitarse la radiación directa del sol, alejado de corrientes de aire o calentadores. El sensor debe estar instalado dentro de la plataforma de recolección de datos con la entrada de aire conectada al medio externo, si el sensor se encuentra instalado fuera de la plataforma de recolección de datos se debe ubicar entre 1,5 a 2 metros de altura con un dispositivo que minimice el error de la presión dinámica debido al viento.
Precipitación	3 a 4 veces la altura de un obstáculo	1 m - 1,5 m	Asfalto o concreto deben evitarse para evitar salpicaduras. El medidor debe estar lo suficientemente alto para evitar que sea cubierto por la nieve.

Fuente: EPA (2008) // SENAMHI (2013).





Respecto de los sensores de viento para estaciones no permanentes, debido a las dificultades que pueden presentarse para instalar una torre de 10 metros, estos sensores pueden instalarse a una altura de 3 metros sobre el suelo y tener una resolución en dirección de viento de 22,5°. Sin embargo, en ese caso, solo se pueden utilizar los datos de vientos para tener una idea aproximada de los patrones de distribución de contaminantes, pero en ningún caso pueden usarse estos datos de viento para un reporte oficial sobre su estado o para estudios de dispersión o modelamiento atmosférico.

J. CALIBRACIÓN

La calibración se aplica única y exclusivamente a instrumentos de medida (de cualquier tipo de magnitud cuantificable), lo que significa que todos los sistemas de medición deben estar sujetos a calibración. Por ejemplo, un equipo de monitoreo automático de calidad del aire suele tener 4 sistemas que realizan mediciones:

- Sistema de medición de flujo de aire muestreado.
- Sistema de medición del contaminante (cámara óptica).
- Sensores de temperatura.
- Sensores de presión.

En este ejemplo, estos 4 sistemas deben ser calibrados sobre la base de comparaciones contra un patrón de mejor exactitud trazable a un patrón primario para cada uno de esos sistemas. En todos los casos, los patrones de transferencia pueden ser utilizados siempre que se cuente con evidencia de trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI). Cuando la trazabilidad metrológica a unidades del SI no sea técnicamente posible, se debe demostrar trazabilidad metrológica a una referencia apropiada (patrón primario)⁵⁴.

Los patrones de transferencia deben ser de una calidad metrológica superior al equipo a calibrar, y necesitan ser recalibrados tomando como referencia un patrón primario. Dicha recalibración debe realizarse con una frecuencia de al menos una vez cada dos años. Toda acción vinculada a la calibración debe ser documentada y debe consignar el nombre completo del personal que ha ejecutado la acción.

El reporte, informe y/o certificado de calibración, en el caso de equipos (dispositivo calibrado y patrones utilizados) que cuenten con memoria y/o sistema de adquisición de datos, debe adjuntar en formato digital la data original⁵⁵ (cruda) con fecha y hora, descargada desde el equipamiento. En caso de que algún equipo utilizado no cuente con memoria y/o sistema de adquisición de datos, el reporte debe adjuntar una copia física y digital del formato que se utilice para anotar y archivar los resultados durante el proceso de calibración, consignándose el nombre completo y documento de identidad del operador y/o analista de turno.

⁵⁴

Preferentemente se priorizará que la calibración se realice por un ente acreditado para dichos alcances.

⁵⁵

La data original (cruda) deberá ser guardada y anexada en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). Esta no deberá ser editada ni alterada de ninguna forma. El fechado y hora de la data original deberá corresponder al de la fecha y hora del análisis reportado.



Los reportes, informes o certificados de calibración deben incluir los detalles del equipamiento utilizado, tales como el número de serie, marca y modelo, condiciones ambientales, lugar, fecha, hora de cada acción vinculada a la calibración, entre otros aspectos. Asimismo, deben anexarse también los certificados de calibración más recientes de los patrones de transferencia utilizados, consignándose el nombre completo del operador o analista de turno.

J.1 Para los sistemas pasivos

En el caso de los sistemas pasivos los dispositivos de campo no realizan medición alguna, únicamente colectan muestras a una tasa de flujo teórica basada en la difusión molecular pasiva, por lo que el volumen de la muestra es calculado sobre la base de la tasa de colección pasiva y el periodo de medición, no siendo necesario calibrar ningún sistema de medición de flujo del aire muestreado.

Luego, la muestra obtenida es llevada para su análisis al laboratorio, por lo que es necesario que los instrumentos de análisis en laboratorio (por ejemplo, espectrofotómetro, cromatógrafo de gases, cromatógrafo iónico, entre otros) sean calibrados o verificados de conformidad con los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el INACAL y los manuales de fabricante de cada equipo. El certificado de calibración o informe de verificación operacional de cada instrumento utilizado para el análisis en laboratorio, debe ser adjuntado siempre a cada informe o reporte de monitoreo.

Las mediciones en laboratorio deben contar con evidencia de trazabilidad al Sistema Internacional de Unidades (SI). Cuando la trazabilidad metrológica a unidades del SI no sea técnicamente posible, el laboratorio debe demostrar trazabilidad metrológica a una referencia apropiada.

J.2 Para los sistemas activos

En el caso de los sistemas activos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado, pudiendo incluir en algunos casos sensores de temperatura y presión.



Respecto de los sistemas para la medición de flujo, temperatura y presión, es necesario que estos sean calibrados aplicando los criterios indicados en la Tabla 11, en la cual se incluyen, además, criterios adicionales para la calibración de microbalanzas y balanzas analíticas utilizadas para la determinación de PM_{10} y $PM_{2.5}$.

Posteriormente, la muestra es llevada para su análisis a laboratorio, por lo que es necesario que los instrumentos de análisis en laboratorio (por ejemplo, microbalanza analítica, espectrofotómetro, cromatógrafo de gases, cromatógrafo iónico, Equipo de Inducción conductiva por plasma, entre otros) sean calibrados de conformidad con los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el INACAL y los manuales de fabricante de cada equipo. El certificado de calibración de cada instrumento utilizado para el análisis en laboratorio debe ser adjuntado siempre a cada informe o reporte de monitoreo.



Tabla 11. Criterios técnicos base para la calibración de equipos de muestreo activo

Variable	Frecuencia*	Error máximo permitido ⁵⁶	Procedimiento de calibración
Flujos (Alto Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 7,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Flujos (Bajo Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 2,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 2,1 °C	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Presión	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 13,4 hPa	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Masa (Balanza para Alto Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 0,51 mg	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL.
Masa (Balanza para Bajo Volumen)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 3,1 µg	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL.
Otro equipo/dispositivo de análisis/medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Nota:

(*) En caso la frecuencia o criterio de calibración indicado por el manual del fabricante o norma técnica del método difiera de la indicada en esta tabla, debe primar el de mayor exigencia.

Fuente: EPA (2017).

J.3 Para los sistemas automáticos

En el caso de los equipos automáticos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado y cuantifican el contaminante (masa) en una cámara medición que aplica métodos ópticos (excepto en el caso de microbalanza oscilatoria). Estos equipos también incluyen sensores de temperatura y presión.



Respecto de los sistemas para la medición de flujo, masa, temperatura y presión, es necesario que estos sean calibrados aplicando los criterios indicados en la siguiente tabla:

⁵⁶

El término "Error máximo permitido" se define como la diferencia entre el valor extremo del error de medición con respecto a un valor de referencia conocido



Tabla 12. Criterios técnicos base para la calibración de equipos automáticos¹

Variable	Frecuencia ¹	Error máximo permitido	Procedimiento de calibración
Flujos	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 2.1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 2,1 °C	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Presión	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 13,4 hPa	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Aire Cero (para analizadores de gases)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 0,3% (error relativo) del rango	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Concentración conocida - Span (para analizadores de gases)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 2,1% (error relativo) para cada punto span ² .	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
		Curva de calibración multipunto ^{2,3} con: <ul style="list-style-type: none"> • Pendiente= [0,9 - 1,1] • Coeficiente de correlación ≥ 0,995 	
Calibración másica (Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 2,5% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Calibración másica (Dispersión de la luz)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 5,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Calibración másica (Atenuación de Rayos Beta)	Anual o después de mantenimiento correctivo	± 5,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Otro equipo/ dispositivo de análisis/ medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		



Notas:

⁽¹⁾ En caso la frecuencia o criterio de calibración indicado por el manual del fabricante o norma técnica del método difiera de la indicada en esta tabla, debe primar el de mayor exigencia.

⁽²⁾ La curva de calibración multipunto incluye un punto de aire cero y, como mínimo, 2 puntos span (recomendable: 60% y 80% del rango).

⁽³⁾ No corresponde a error máximo permitido.

Fuente: EPA (2017) y Alberta Environment and Parks (2016).



En el caso de los analizadores de gases, debe considerarse lo siguiente:

- Los procedimientos de calibración, como se ha mencionado previamente, se encuentran incorporados en las normas técnicas de monitoreo para cada parámetro (tabla 6) y/o manual del fabricante. Los métodos de calibración aplicables son:
 - a) Dilución basada en gas patrón certificado de Grado 'EPA Protocol' (cilindro).
 - b) Dilución basada en tubos de permeación certificados.
 - c) Calibración GPT (Gas Phase Tritation) para NO_2 u O_3 .
 - d) Generación de ozono y medición con Fotómetro UV para O_3 .
 - e) En el caso de MGT, el método de calibración debe realizarse acorde a los procedimientos establecidos en la NTP 900.068.
- Previo a la calibración, el analizador debe ser encendido y operar (estabilizarse) durante al menos 12 horas.
- Para cada uno de los puntos de calibración, se recomienda un mínimo de 5 minutos de estabilización mientras se alimenta cada concentración cero o span.
- En el caso de la calibración por dilución:
 - a) Los sistemas de medición/control de flujo del dilutor, en su calidad de patrón de transferencia, debe recalibrarse a una frecuencia de al menos una vez cada dos años.
 - b) El aire cero puede ser suministrado por cilindros que contienen aire cero o por un generador de aire cero. En cualquiera de estos casos, el aire cero resultante debe contener menos de 1 ppb de concentración para la mayoría de los gases ambientales, menos de 10 ppb para el CO, y una concentración menor al límite de detección del método respecto al C_6H_6 y el MGT.

J.4 Para los sensores de las estaciones meteorológicas

La calibración de todos los sensores de las estaciones meteorológicas orientadas al monitoreo de calidad del aire debe realizarse cumpliendo los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el SENAMHI, en coordinación con el INACAL. En tanto no se cuenten con criterios nacionales, es posible la aplicación de los procedimientos de calibración establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) en su "Guía de Instrumentos y Métodos de Observación - Edición de 2014 actualizada en 2017 - Parte I: Medición de variables meteorológicas".



K. OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

La operación y mantenimiento de cada sistema de medición debe realizarse conforme al manual de cada fabricante. Toda red, estación o equipo de monitoreo debe contar con un programa de mantenimiento preventivo, de acuerdo al manual del fabricante y lineamientos técnicos establecidos en el presente protocolo.

En lo que respecta a la operación y mantenimiento en campo, indistintamente de la tecnología de medición que se utilice, toda acción (incluidas las calibraciones) debe ser consignada con fecha,

hora y lugar, en una bitácora de campo, incluyendo el nombre completo y DNI del/ de la operador/a y/o analista de turno. Todo reporte o informe de monitoreo debe adjuntar copia física y digital de la bitácora de campo.

K.1 Para los sistemas pasivos

En el caso de los sistemas pasivos, como ya ha sido mencionado, los dispositivos de campo no realizan medición alguna sino que únicamente colectan muestras mediante la difusión molecular pasiva. En razón de lo explicado, su operación se basa en:

- El manejo de los dispositivos de muestreo antes y después de la toma de muestra.
- El periodo de colección de muestra.
- La gestión y análisis de la muestra en laboratorio.

Tabla 13. Criterios técnicos base para la verificación de sistemas de muestreo pasivo

Variable	Criterio de aceptación
Tiempo máximo de almacenamiento de dispositivo antes del muestreo.	En función al manual, hoja técnica del/de la fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Periodo de colección de muestra.	En función al manual, hoja técnica del/de la fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Tiempo máximo de almacenamiento de dispositivo post muestreo.	En función al manual, hoja técnica del/de la fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Temperaturas (ambiental y de almacenamiento), presión ambiental, humedad relativa, velocidad de viento.	En función al manual, hoja técnica del/de la fabricante del dispositivo de muestreo y norma técnica de monitoreo (tabla 6).
Verificaciones operacionales en el equipamiento de análisis de laboratorio*	Según manual del/de la fabricante y lineamiento indicado por INACAL.

Nota:

(*) Debe realizarse previo al análisis de las muestras.

Fuente: Elaboración propia (2018).

El reporte o informe de los resultados del muestreo y análisis de laboratorio, en el caso de equipos que cuenten con memoria y/o sistema de adquisición de datos, debe adjuntar en formato digital la data original⁵⁷ (cruda) con fecha y hora, descargada desde el equipamiento de laboratorio. En caso el equipo de análisis en laboratorio no cuente con memoria y/o sistema de adquisición de datos, el

⁵⁷

La data original (cruda) deberá ser guardada y anexada en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). Esta no deberá ser editada ni alterada de ninguna forma. El fechado y hora de la data original deberá corresponder al de la fecha y hora del análisis reportado.



reporte debe adjuntar una copia física y digital del formato que se utilice en laboratorio para anotar y archivar los resultados, consignándose el nombre completo y DNI del/de la operador/a y/o analista de turno.

Los reportes o informes deben incluir los detalles del equipamiento utilizado como números de series, marca y modelo, códigos de las muestras analizadas, fecha y hora del muestreo y/o análisis; asimismo debe anexar los certificados de calibración vigentes de todo equipo o dispositivo de medición utilizado antes, durante y después del muestreo, y consignar el nombre completo y DNI del operador o analista de turno.

K.2 Para los sistemas activos

Para los sistemas activos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado. En algunos casos, los equipos de monitoreo activo incluyen sensores de temperatura y presión.

Respecto de los sistemas para la medición de flujo, temperatura y presión, es necesario que estos sean verificados aplicando los criterios indicados en la Tabla 14.

Asimismo, debido a que la muestra es llevada para su análisis a laboratorio, es necesario que los instrumentos de análisis (por ejemplo, microbalanza analítica, espectrofotómetro, cromatógrafo de gases, cromatógrafo iónico, Equipo de Inducción conductiva por plasma, entre otros) sean verificados de conformidad con los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el INACAL y los manuales de fabricante de cada equipo.

Tabla 14. Criterios técnicos base para la verificación previa de equipos de muestreo activo

Variable	Frecuencia	Error máximo permitido	Método de verificación
Estado de limpieza	En almacén antes del traslado del equipo, o una vez al mes en campo.		Visual
Prueba de fugas			Según norma técnica del método y manual del fabricante
Flujo (Alto Volumen)	En campo, antes del inicio de la operación de la estación, antes del inicio de cada campaña de monitoreo, o una vez por mes.	± 7,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante del/de la fabricante.
Flujo (Bajo Volumen)		± 2,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Temperaturas		± 2,1 °C	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Presión		± 13,4 hPa	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Masa (Balanza para Alto Volumen)	En laboratorio, antes y después del inicio del análisis (pesaje) de cada lote de	± 0,51 mg	Según manual del/de la fabricante y lineamiento indicado por INACAL.
Masa (Balanza para Bajo Volumen)		± 3,1 µg	Según manual del/de la fabricante y lineamiento indicado por INACAL.





	muestras. Dependiendo de la cantidad de muestras por lotes, se recomienda realizar verificaciones intermedias.		
Otro equipo/dispositivo de análisis/medición	Según manual del/de la fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Fuente: EPA (2017).

Tabla 15. Criterios técnicos base para la verificación operacional, durante el muestreo o manejo de la muestra de equipos activos

Variable ¹	Estadístico	Valor límite (Criterio de aceptación)	Método de verificación
Flujo (Alto Volumen)	Coefficiente de Variación (CV)	10,1%	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Flujo (Bajo Volumen)	Coefficiente de Variación (CV)	5,1%	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Temperaturas ²	Máximas, mínimas o diferencias (pe: diferencia de temperatura interna y externa)	Según norma técnica del método y manual del/de la fabricante, o según lo indicado en el acápite E del presente protocolo.	
Otro equipo/dispositivo de análisis/medición	Según manual del/de la fabricante y lineamiento indicado por INACAL		



Notas:

- (1) Las variables de flujo, temperaturas y presión, siempre que se cuente con registradores digitales, deben ser medidas y registradas, al menos, cada 15 minutos. Una mayor frecuencia podría ser requerida siempre que ello sea indicado en la norma técnica del método y manual del fabricante.
- (2) No se debe olvidar que la referencia a los niveles de temperatura durante toda acción de calibración y/o verificación, debe incluir a los distintos sensores de temperatura que se aplican antes, durante y después del muestreo.

Fuente: EPA (2017).

K.3 Para los sistemas automáticos

En el caso de los equipos automáticos, los dispositivos de campo realizan la medición de flujo del aire muestreado y cuantifican el contaminante en una cámara medición que aplica métodos ópticos (excepto en el caso de microbalanza oscilatoria). Estos equipos también incluyen sensores de temperatura y presión.

Cabe mencionar que se acepta que los rangos de concentraciones a medir por los equipos automáticos puedan estar sujetos a variaciones sobre la base del conocimiento de las concentraciones esperadas, lo cual ayuda a disminuir la incertidumbre de los resultados. En caso se realicen cambios en el rango de medición de las concentraciones, el equipo debe ser recalibrado conforme a los criterios establecidos en la sección J del presente protocolo.



Tabla 16. Criterios técnicos base para la verificación previa de equipos automáticos

Variable	Frecuencia	Error máximo permitido	Método de verificación
Estado de limpieza	En almacén antes del traslado del equipo, o una vez al mes en campo.		Visual
Prueba de fugas	En campo, antes del inicio de la operación de la estación, antes del inicio de cada campaña de monitoreo, o una vez por mes.		Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Flujo		± 4,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Temperaturas		± 2,1 °C	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Presión		± 13,4 hPa	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Aire Cero (para analizadores de gases)		± 3% (error relativo) del rango	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Concentración conocida/ Span (para analizadores de gases)		± 2,1% (error relativo) para un solo punto Span correspondiente al 60% del rango.	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Verificación másica (Microbalanza Oscilatoria de Elemento Cónico)		± 2,5% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Verificación másica (Dispersión de la luz)		± 5,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Verificación másica (Atenuación de Rayos Beta)		± 5,1% (error relativo)	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del/de la fabricante.
Otro equipo/ dispositivo de análisis/ medición	Según manual del/de la fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Fuente: EPA (2017).

Tabla 17. Criterios técnicos base para la verificación en campo de equipos automáticos

Variable ¹	Estadístico	Valor límite (Criterio de aceptación)	Método de verificación
Flujo	Coefficiente de Variación (CV)	5,1%	Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante.
Temperaturas, Presiones internas y Voltajes de Intensidad	Máximas, mínimas o diferencias (pe: diferencia de temperatura interna y externa)		Según norma técnica del método de monitoreo (tabla 6) y/o manual del fabricante, o según lo indicado en el acápite E del presente protocolo.
Otro equipo/ dispositivo de análisis/medición	Según manual del fabricante y lineamiento indicado por INACAL		

Nota:

⁽¹⁾ Las variables de flujo, temperaturas y presión debe ser medidas y registradas, al menos, cada 15 minutos. Una mayor frecuencia podría ser requerida en el caso que ello sea indicado en la norma técnica del método y manual del fabricante.

Fuente: EPA (2017).





El reporte o informe de los resultados de los equipos automáticos, incluyendo los reportes de las verificaciones, deben adjuntar en formato digital la data original⁵⁸ (cruda) con fecha y hora, descargada desde el equipamiento utilizado.

Los reportes o informes deben incluir los detalles del equipamiento utilizado como números de serie, marca y modelo, lugar, fecha y hora. Además, se deben anexar los certificados de calibración más recientes de todo equipo o dispositivo de medición utilizado, y consignar el nombre completo y DNI del operador o analista de turno.

K.4 Para los sensores de las estaciones meteorológicas

La operación y mantenimiento de los sensores de las estaciones meteorológicas debe realizarse cumpliendo los lineamientos y criterios técnicos establecidos por el SENAMHI, en los protocolos y/o guías emitidas por la referida institución.

L. PROCESAMIENTO Y REPORTE DE LA INFORMACIÓN DEL MONITOREO

El procesamiento de la información de monitoreo de la calidad del aire está constituido por un conjunto de actividades orientadas a recolectar la información de campo y realizar los cálculos que sean necesarios, hasta obtener el dato o conjunto de datos que son utilizados para determinar el estado de la calidad del aire. El procesamiento puede realizarse mediante cálculos en gabinete o con mecanismos y algoritmos automatizados.

El reporte es la actividad que consiste en ordenar el dato o conjunto de datos que determinan el estado de la calidad del aire y publicarlos en medios físicos y/o digitales, pudiendo incluso alojarse en servidores y visualizarse en tiempo real desde cualquier sitio web previamente establecido.

L.1 Procesamiento

L.1.1 Data original (Cruda)

Un primer paso en el procesamiento de la información es la recolección de toda la data original, también llamada data cruda. Como se indica en el capítulo precedente, ésta debe ser guardada y anexada a todo reporte o informe de monitoreo en el mismo formato en el que es generado por cada equipo de monitoreo. Esta no debe ser editada ni alterada de ninguna forma.

En el caso de equipos o dispositivos de muestreo que no generen información descargable, la información de campo es recogida en un formato de campo y otros mecanismos como el registrador de flujo (por ejemplo, el flow chart recorder generado por un highvol mecánico).

En el caso de los sistemas automáticos, si la data original es recolectada desde un datalogger que centraliza la información de todos los equipos de la estación de monitoreo, debe verificarse lo siguiente:

⁵⁸

La data original (cruda) deberá ser guardada y anexada en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). Esta no deberá ser editada ni alterada de ninguna forma. El fechado y hora de la data original deberá corresponder al de la fecha y hora del análisis reportado.



- Que la transmisión de la información desde la memoria de los equipos de monitoreo hacia el datalogger sea preferentemente digital.
- Si la transmisión de la información desde la memoria de los equipos de monitoreo hacia el datalogger es a través de salidas analógicas, la información de la memoria interna debe contrastarse una vez al mes con la información recolectada en el datalogger, con la finalidad de identificar posibles desviaciones, entre una base de datos y otra, que ameriten de la calibración de las señales analógicas.
- En cualquier caso, la configuración del datalogger no debe tener ningún algoritmo de cálculo en su programación que ocasione algún cambio en el reporte de las concentraciones medidas de los parámetros de calidad del aire.
- El archivo de configuración/programación de cada datalogger con que cuente la estación, también debe ser anexado a todo reporte o informe de monitoreo⁵⁹.

L.1.2 Validación de los datos de monitoreo

Para efectos de la validación de los datos de monitoreo, toda acción de procesamiento debe tomar en consideración la siguiente información⁶⁰:

- Data original (cruda).
- Cadenas de custodia, en caso de muestreos con sistemas pasivos y/o activos.
- Formatos y bitácora de campo.

De la información indicada, se debe verificar que ésta cumpla, mínimamente, con los siguientes criterios de validación:

- a) Que hayan sido cumplidos todos los aspectos técnicos referidos a la instalación, calibración, operación, mantenimiento y otros establecidos en el presente documento.
- b) En el caso de equipos automáticos, no deben existir valores constantes de concentraciones horarias por más de tres horas consecutivas.
- c) En el caso de analizadores de NO₂ por quimioluminiscencia, la suma de NO y NO₂ dividida entre NOx debe encontrarse en el rango de [0,9 - 1,1].
- d) En general, para una misma estación y periodo de monitoreo, la razón (relación geométrica) del PM_{2,5} entre PM₁₀ debe siempre ser menor o igual a 1.
- e) En el caso de equipos que brinden avisos de alerta o error, se debe verificar, de acuerdo al manual de cada equipo, que el status del mismo se encuentre siempre en "normal" o su equivalente.

Si alguno de los criterios de validación mencionados no se cumplieran, se deben realizar los siguientes pasos:



⁵⁹ Este requerimiento puede ser omitido cuando el datalogger cuente únicamente con formatos predeterminados en los cuales el usuario no puede realizar cambios ni tampoco descargar la configuración puesto que son propiedad del fabricante. Dicha condición deberá demostrarse a través del manual del datalogger u otro tipo de documentación técnica.

⁶⁰ Esta información deberá ser anexada a todo reporte o informe de monitoreo.



- Determinar el rango de periodo en el cual no se ha cumplido con alguno de los criterios de validación, debiendo indicarse el (los) parámetro(s), equipo(s) y estación(es), así como cuáles han sido los criterios no cumplidos.
- Colocar la información de monitoreo que no haya cumplido con los criterios de validación en observación, mediante señales definidas por la institución que gestione la red o estación de monitoreo. Ello podrá realizarse mediante un sistema de banderas u otros mecanismos similares.
- A efectos del reporte de la data validada, se debe descartar toda información de monitoreo que no haya cumplido con los criterios de validación.
- Analizar las razones por las cuales la información pudiera haber no cumplido con los criterios de validación, y ejecutar las acciones correctivas y evaluar los riesgos asociados a futuras acciones de monitoreo.
- La información resultante de la aplicación de los pasos indicados líneas arriba debe documentarse y anexarse a todo informe o reporte de monitoreo.

L.1.3 Cálculo de concentraciones

Con la finalidad de comparar los resultados obtenidos con los ECA para aire vigentes, las concentraciones de los contaminantes de calidad del aire se deben reportar en las unidades de microgramos por metro cúbico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Asimismo, se debe tomar en consideración que todo resultado obtenido debe ser reportado indicando también el valor de incertidumbre expandida de la medición, de conformidad con lo establecido en la NTP-ISO/IEC 17025:2017 "Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración", o su versión actualizada.



En el caso de los contaminantes gaseosos, el volumen se debe expresar en condiciones estándar, es decir a una temperatura de 298 Kelvin y una presión atmosférica de 101,3 kPa (760 mmHg o 1 atm). En el caso del material particulado y las sustancias que deben analizarse en la fase de partículas (por ejemplo, el plomo), el volumen de muestreo se debe expresar en las condiciones ambientales (volumen actual) en términos de temperatura ambiental y presión atmosférica promedio, medidas durante el periodo de muestreo:

- En el caso de los contaminantes gaseosos

$$\text{Concentración} = [\text{Gas}] = \frac{M}{V_{\text{std}}}$$

Dónde:

M: masa del contaminante, en μg (microgramos).
Vstd: volumen estandarizado de la muestra, en m^3 std.

$$V_{\text{std}} = (V_a) \times \left(\frac{P_a}{P_{\text{std}}}\right) \left(\frac{T_{\text{std}}}{T_a}\right)$$



Dónde:

Va: volumen actual de la muestra en m³ (en términos de temperatura ambiental y presión atmosférica promedio, medidas durante el periodo de muestreo).

Ta: temperatura ambiental promedio en Kelvin, medida durante el periodo de muestreo.

Pa: presión atmosférica promedio en kPa, mmHg o atm, medida durante el periodo de muestreo.

Tstd: temperatura estándar = 298 Kelvin.

Pstd: presión estándar = 101,3 kPa = 760 mmHg = 1 atm.

$$Va = (Qa) \times (t)$$

Dónde:

Qa: flujo de muestreo promedio, en m³/min.

t: tiempo o periodo de muestreo, en minutos.

En el caso de algunos equipos de monitoreo automático de gases ambientales, los resultados se obtienen en las unidades de partes por billón (ppb), por lo que para reportar en las unidades de microgramos por metro cúbico, se debe realizar la siguiente conversión:

$$\text{Concentración} = [\text{Gas}] = \frac{M}{V_{\text{std}}} = [\text{ppb}] \times \left(\frac{\bar{M}}{V_{\text{mol}}} \right)$$

Dónde:

M: masa del contaminante en µg (microgramos).

Vstd: volumen estandarizado de la muestra en m³ std.

[ppb]: concentración del contaminante en partes por billón.

\bar{M} : peso molecular del contaminante en gramos/mol.

Vmol: volumen de un mol de gas a condiciones estándar = 24,4 litros/mol.

- En el caso del material particulado y las sustancias que deben analizarse en la fase de partículas



$$\text{Concentración} = [\text{Partículas}] = \frac{M}{Va}$$

Dónde:

M: masa del contaminante, en µg (microgramos).

Va: volumen actual de la muestra, en m³ (en términos de temperatura ambiental y presión atmosférica promedio, medidas durante el periodo de muestreo).



$$Va = (Qa) \times (t)$$

Dónde:

Qa: flujo de muestreo promedio, en m³/min.

t: tiempo o periodo de muestreo, en minutos.

Finalmente, para una mayor entendimiento de cómo obtener concentraciones promedios comparables con los ECA para Aire, se sugiere revisar, el anexo denominado "Guía para el cálculo de promedios comparables con su correspondiente ECA" (ver sección P del presente documento).

L.2 Reporte o informe de monitoreo

Todo reporte o informe de monitoreo debe ser remitido, tanto en versión física⁶¹ como digital, a la autoridad ambiental competente.

En el caso de los reportes o informes de los administrados en el marco de sus compromisos ambientales asumidos, esta autoridad corresponde al OEFA u otra Entidad de Fiscalización Ambiental (EFA), según el caso. Cuando se trate de monitoreos realizados por entidades públicas, la autoridad ambiental competente es el MINAM.



Tanto el MINAM como las EFA y OEFA, deben realizar las coordinaciones necesarias para incorporar los reportes/informes de monitoreo al Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), sin perjuicio de la potestad que tiene cada entidad para publicar dicha información en sus respectivos portales web.

L.2.1 Data original (Cruda)

La data original (cruda) debe ser guardada y anexada a todo reporte o informe de monitoreo, en el mismo formato en que es generada por el equipo (*.dat, *.txt, *.csv u otro de acuerdo al manual del fabricante). En ningún caso, la data original debe ser editada o alterada.

La data en mención también puede reportarse en tiempo real desde cualquier sitio web previamente establecido. Su reporte debe contemplar todo lo indicado en la sección L.1.1. del presente protocolo. Adicionalmente, cuando el reporte de la data original se realice en línea, se debe precisar, en el reporte, que la data se encuentra en proceso de validación, para evitar potenciales confusiones en el usuario de la información.

L.2.2 Concentraciones validadas

Las concentraciones validadas y calculadas luego de haber seguido todo el procedimiento establecido en la sección L.1, deben ser reportadas en medios físicos y/o digitales, pudiendo incluso

⁶¹ Únicamente en aquellas instituciones en las cuales se haya implementado plataforma(s) informática(s) para el uso de documentos digitales con valor legal (firma digital) será posible omitir la presentación en versión física.



alojarse en servidores y visualizarse en tiempo real desde cualquier sitio web previamente establecido.

Todo reporte debe incluir gráficas y tablas de las concentraciones promediadas de acuerdo a los ECA para aire vigentes. Las concentraciones a ser promediadas deben cumplir mínimamente con la información requerida en las Tablas 3 y 4.

M. ASEGURAMIENTO Y CONTROL DE LA CALIDAD DEL MONITOREO

En consideración a lo indicado en la norma NTP-ISO 9000:2015 “Sistemas de gestión de la calidad. Fundamentos y vocabulario”, el aseguramiento o garantía de la calidad corresponde al conjunto de acciones planificadas y sistemáticas necesarias para proporcionar la confianza adecuada de que el monitoreo cumplirá con los requerimientos de calidad exigidos. Asimismo, el control de calidad corresponde al conjunto de actividades de carácter operativo, utilizadas para verificar los requerimientos relativos a la calidad del monitoreo.

En ese sentido, para efectos del cumplimiento del presente protocolo, el aseguramiento corresponde a las acciones identificadas como necesarias para alcanzar la calidad del monitoreo, mientras que el control corresponde a toda acción o mecanismo que permita verificar que se ha cumplido con la ejecución de las acciones de aseguramiento.

A continuación, en la Tabla 18, se identifican las acciones de aseguramiento y control de calidad que deben tenerse en cuenta al momento de realizar las labores de monitoreo:

Tabla 18. Acciones de aseguramiento y control de la calidad de los monitoreos

N°	Acción de aseguramiento	Sustento o base	Evidencia o medio probatorio*	Acción de control
1	Definir el enfoque del monitoreo	Objetivo(s) del monitoreo	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01)
2	Determinar número, localización y clasificación de las estaciones de monitoreo	Cumplimiento de C.1, C.2 y C.5	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01)
3	Determinar parámetros de calidad del aire	Cumplimiento de C.3	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
4	Determinar la frecuencia y periodos de monitoreo	Cumplimiento de C.4	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
5	Seleccionar métodos de medición	Cumplimiento de F y H	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
6	Instalar los equipos de monitoreo	Cumplimiento de I	Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA-01).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
7	Calibrar los equipos de monitoreo	Cumplimiento de J	Ficha del equipo de monitoreo (FA-02).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).



N°	Acción de aseguramiento	Sustento o base	Evidencia o medio probatorio*	Acción de control
8	Operar los equipos de monitoreo	Cumplimiento de K	Ficha del equipo de monitoreo (FA-02).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
9	Mantener los equipos de monitoreo	Cumplimiento de K	Ficha del equipo de monitoreo (FA-02).	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).
10	Procesar y reportar la información de monitoreo	Cumplimiento de L	Data cruda, sistema de procesamiento, data procesada.	Verificación mediante lista de chequeo (FC-01).

*En el caso de las Fichas FA-01 y FA-02, estas son orientadoras, pudiendo aplicarse otras fichas, todo ello sin perjuicio de las evidencias o medios probatorios que se adjunten a todo y reporte o informe de monitoreo demuestren el cumplimiento de los criterios establecidos en el presente protocolo.

Fuente: Elaboración propia (2018).

Todo reporte o informe de monitoreo debe incluir, en anexos, las evidencias o medios probatorios de las acciones de aseguramiento y control indicadas en la Tabla 17.

M.1 Verificación documentaria del cumplimiento del protocolo

Consiste en una revisión exhaustiva de todos los documentos o medios anexados a los reportes o informes de monitoreo, que permitan evidenciar el cumplimiento de los criterios establecidos en el presente protocolo.

En el caso de los informes o reportes de los administrados, esta verificación corresponde al OEFA u otra Entidad de Fiscalización Ambiental (EFA), según el caso. Cuando se trate de informes o reportes de monitoreos realizados por entidades públicas, la verificación corresponde al MINAM.

Para efectos de verificar, de manera documentaria, el cumplimiento del protocolo, la entidad correspondiente puede aplicar como base el Formato FC-01.



La verificación documentaria se realizará durante la revisión de los informes o reportes de monitoreo, una vez que estos hayan sido entregados formalmente a la entidad correspondiente⁶², en el caso de los administrados la frecuencia de entrega de los informes o reportes es de acuerdo a lo establecido en su Instrumento de Gestión Ambiental respectivo.

En caso de evidenciarse un incumplimiento al protocolo, este debe ser absuelto por el administrado u entidad pública responsable del monitoreo, caso contrario todo resultado de monitoreo asociado a un incumplimiento al protocolo es considerado como no válido.

M.2 Verificación del requisito de acreditación

Todo monitoreo de calidad ambiental del aire, cuyos resultados sean comparados con los ECA para aire, debe ser realizado por organismos acreditados por INACAL⁶³ en las normas técnicas del método de monitoreo (tabla 6), según el parámetro correspondiente.

⁶² Respecto a la revisión de los informes o reportes de monitoreo, es importante precisar que en el caso de los monitoreos de línea base, estos son revisados por la autoridad de evaluación ambiental competente. Mientras que los informes o reportes monitoreos de cumplimiento de los compromisos ambientales establecidos en los Instrumentos de Gestión Ambiental de los administrados, son revisados por la autoridad de fiscalización ambiental competente.

⁶³ U organismo de acreditación internacional reconocido por el INACAL, en el marco del Acuerdo de Reconocimiento Mutuo de la International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) o el Acuerdo de Reconocimiento Multilateral de la Inter American Accreditation Cooperation (IAAC).



- Cooper, W. (1975). Statistical errors in beta absorption measurements of particulate mass concentration [Errores estadísticos en las mediciones de beta absorción de la concentración de masa de las partículas]. *Journal of the Air Pollution and Control Association* 25:1154–1155.
- Courtney, J. *et al.* (1982). Precision and accuracy of a beta-gauge for aerosol mass determination [Precisión y exactitud de un calibrador beta para la determinación de masa de aerosol]. *Environmental Science and Technology* 16:236–238.
- CTBE/CNPEM (2012). Sugarcane Life Cycle Inventory [Inventario del ciclo de vida de la caña de azúcar]. Recuperado de: <http://lnbr.cnpem.br/wp-content/uploads/2016/08/MeT-082012.pdf>
- Decreto Supremo N° 074-2001-PCM, Reglamento de Estándares de Calidad Ambiental del Aire, Lima, Perú, 22 de junio del 2001.
- Decreto Supremo N° 069-2003-PCM, Establecen valor anual de concentración de plomo, Lima, Perú, 14 de julio del 2003.
- Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM, aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire, Lima, Perú, 21 de agosto del 2008.
- Decreto Supremo N° 006-2013-MINAM, Aprueban Disposiciones Complementarias para la aplicación de Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de Aire, Lima, Perú, 18 de junio del 2013.
- Decreto Supremo N° 003-2017-MINAM, que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental para Aire, Lima, Perú, 7 de junio del 2017.
- Department of Environment and Conservation of Western Australia (2009). Ambient monitoring of Particulate Matter in Kalgoorlie 2006-2007 [Monitoreo ambiental de material particulado en Kalgoorlie 2006-2007]. Technical report.
- Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria (2005). Protocolo de Monitoreo de Calidad del Aire y Gestión de los Datos. Resolución Directoral N° 1404/2005/DIGESA.
- Directiva 2008/50/CE relativa a la calidad del aire y a una atmósfera más limpia en Europa.
- EN 13528-1:2002. Ambient air quality. Diffusive samplers for the determination of concentrations of gases and vapours. Requirements and test methods. General requirements [Calidad ambiental del aire. Captadores difusivos para la determinación de las concentraciones de gases y vapores. Requisitos Generales].
- EN 14662-1:2006. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Part 1: Pumped sampling followed by thermal desorption and gas chromatography [Calidad de aire ambiental – Método estándar para la medición de concentraciones de benceno – Parte 1: Muestreo mediante bomba seguido de desorción térmica y cromatografía de gases]
- EN 14662-2:2006. Ambient air quality. Standard method for measurement of benzene concentrations. Part 2: Pumped sampling followed by solvent desorption and gas chromatography [Aire Ambiental – Método estándar para la medición de concentraciones de benceno – Parte 2: Muestreo mediante bomba seguido de desorción con solvente y cromatografía de gases]
- EN 14662-3:2016. Ambient Air quality- Standard Method For The Measurement Of Benzene Concentrations - Part 3: Automated Pumped Sampling With In Situ Gas Chromatography [Calidad de aire ambiental – Método estándar para la medición de concentraciones de benceno – Parte 3: Muestreo mediante bomba automática con cromatografía de gases in situ]
- European Communities (2002). Ambient Air Pollution by Mercury (Hg) Position Paper [Ensayo sobre la contaminación del aire por mercurio]. ISBN 92-894-4260-3.
- European Environment Agency (2013). Status of black carbon monitoring in ambient air in Europe [Estatus del monitoreo de carbono negro en el aire de Europa]. Technical report.





- European Environment Agency (2016). EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2016 [Guía de inventarios de emisión de contaminantes del aire]. ISBN 978-92-9213-806-6.
- Fu, X. *et al.* (2009). Atmospheric total gaseous mercury (TGM) concentrations and wet and dry deposition of mercury at a high-altitude mountain peak in south China [Concentraciones atmosféricas de mercurio gaseoso total (TGM) y deposición húmeda y seca de mercurio en un pico de montaña a gran altitud en el sur de China]. *Atmospheric, Chemistry and Physics Journal*.
 - Global Mercury Observation System (2018). GMOS Standard Operational Procedure Methods for the determination of TGM and GEM [Métodos de Procedimiento Operacional Estándar GMOS para la determinación de TGM y GEM]- Recuperado de http://www.gmos.eu/public/GMOS%20SOP%20TGM_GEM.pdf
 - Gussman, R. *et al.* (2001). Design Calibration and Field Test of a Cyclone for PM-1 Ambient Air Sampling [Calibración de diseño y prueba de campo de un Ciclón para muestreo de aire PM-1]. *Aerosol Science and Technology*.
 - Gustin, M. *et al.* (2015). Measuring and modeling mercury in the atmosphere: a critical review [Medición y modelamiento del mercurio en la atmósfera: una crítica revisión]. *Atmospheric, Chemistry and Physics Journal*.
 - Hall, E. *et al.* (2014). Integrating Sensor Monitoring Technology into the Current Air Pollution Regulatory Support Paradigm: Practical Considerations [Integración de la tecnología de monitoreo de sensores en el paradigma actual de soporte regulatorio de la contaminación del aire: consideraciones prácticas]. *American Journal of Environmental Engineering* (DOI: 10.5923/j.ajee.20140406.02).
 - Ibañez, L (2008). Comparación entre las metodologías de muestreo equivalentes y de referencia del material particulado atmosférico, en la ciudad de Lima. (Tesis de Pre grado en Ing. Ambiental). Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
 - Instituto Nacional de Ecología (2010). Manual 1 Principios de Medición de la Calidad del Aire, México.
 - Instituto Nacional de Ecología (2010). Manual 4 Operación de Estaciones de Medición de la Calidad del Aire, Mantenimiento y Calibración de sus Componentes. México.
 - International Organization for Standardization (2005). ISO 17025:2005 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración, México.
 - International Organization for Standardization (2011). ISO 19011:2011 Directrices para la auditoría de los sistemas de gestión, Suiza.
 - International Organization for Standardization (2015). ISO 9001:2015 Sistema de Gestión de la Calidad, International Organization for Standardization, España, AENOR.
 - ISO 10313:1993 Ambient air — Determination of the mass concentration of ozone — Chemiluminescence method [Aire ambiental – Determinación de la concentración másica del ozono – método de quimioluminiscencia].
 - ISO 13964:1998 Air quality — Determination of ozone in ambient air — Ultraviolet photometric method [Calidad de aire – Determinación de ozono en el aire ambiente – método fotométrico].
 - Jaklevic, M. *et al.* (1981). A beta-gauge method applied to aerosol samples [Un método de calibre beta aplicado a muestras de aerosol]. *Environmental Science and Technology* 15:680–686.





- Japan International Cooperation Agency (2004). Asesoría para la definición de criterios y desarrollo de procedimientos de monitoreo atmosférico. Recuperado de: http://open_jicareport.jica.go.jp/pdf/11778669.pdf
- Kebabian, P. et al. (2005). Detection of Nitrogen Dioxide by Cavity Attenuated Phase Shift Spectroscopy [Detección del dióxido de nitrógeno por la fase de cavidad atenuada espectroscopio]. Analytical Chemistry Journal.
- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, Lima, Perú, 15 de octubre del 2005.
- Lilienfeld, P. (1975). Design and operation of dust measuring instrumentation based on the beta-radiation method [Diseño y prueba de instrumentos de medición de polvo basados en el método de la beta-radiación]. Staub-Reinhal. Luft 35:458.
- Liu G, C. & O'Driscoll, N. (2011). Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury [Química Ambiental y Toxicología del Mercurio]. ISBN: 978-1-118-14663-7.
- Lodge, James (1988). Methods of Air Sampling and Analysis - 3rd Edition [Métodos para el muestreo de aire y análisis].
- Macias, S. & Husar, B. (1976). Atmospheric particulate mass measurement with beta attenuation mass monitor [Medición de la masa de la partícula atmosférica con el monitor beta de atenuación de masas]. Environmental Science and Technology 10:904-907.
- Martínez, A. & Romieu, I. (2001). Introducción al Monitoreo Atmosférico. ECO / GTZ / Departamento del Distrito Federal.
- MCerts (2019). MCerts Certified Products: Continuous Ambient Air Monitoring System [Productos certificados por MCerts: Sistema de monitoreo continuo del aire ambiente]. Recuperado de: <https://www.csagroupuk.org/services/mcerts/mcerts-product-certification/mcerts-certified-products/mcerts-certified-products-continuous-ambient-air-monitoring-system/>
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2010). Manual De Operación De Sistemas De Vigilancia De La Calidad Del Aire, Bogotá, Colombia, Ministerio de Ambiente.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial de Colombia (2008). Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Colombia.
- Ministerio de la Producción (2010). Protocolo para el Monitoreo de Emisiones Atmosféricas y Calidad del Aire de la industria de Harina y Aceite de Pescado y Harina de Residuos Hidrobiológicos. Resolución Ministerial N° 194-2010-PRODUCE.
- Molenaar, J. (2018) Theoretical Analysis of PM_{2.5} Mass Measurements by Nephelometry [Análisis teórico de las mediciones de masa de PM_{2.5} por Nefelometría]. Recuperado de http://vista.cira.colostate.edu/improve/publications/graylit/014_AerosolByNeph/AerosolByNeph.pdf
- Munn, E. (1981). The Design of Air Quality Monitoring Networks [Diseño de redes de monitoreo de calidad de aire]. MacMillan, London.
- Norma Oficial Mexicana NOM-026-SSA1-1993. Salud ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire, con respecto al plomo (Pb). Valor normado para la concentración de plomo (Pb) en el aire, como medida de protección a la salud de la población. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México.
- Norma Oficial Mexicana NOM-035-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de partículas suspendidas totales en el aire y los procedimientos para la





calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México.

- Norma Oficial Mexicana NOM-036-SEMARNAT-1993. Métodos de medición para determinar la concentración de ozono en el aire y los procedimientos para la calibración de los equipos de medición. Diario Oficial de la Federación, Ciudad de México, México.
- NTP 900.031:2003 GESTIÓN AMBIENTAL. Calidad del aire. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de monóxido de carbono en la atmósfera (fotometría infrarroja no dispersiva).
- NTP 900.032:2003 GESTIÓN AMBIENTAL. Calidad del aire. Método de referencia para la determinación de plomo en material particulado suspendido colectado en el aire del ambiente.
- NTP 900.033:2004 GESTIÓN AMBIENTAL. Calidad del aire. Principio de medición y procedimiento de calibración para la medición de dióxido de nitrógeno en la atmósfera (quimioluminiscencia de la fase gaseosa).
- NTP 900.068:2016 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. Método normalizado para la determinación del mercurio gaseoso total.
- NTP 900.036:2017 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. "Muestreadores de difusión pasiva para la determinación de la concentración de gases y vapores. Requisitos y métodos de ensayo. Parte 1: Requisitos generales".
- NTP 900.069:2017 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad del aire. "Método de referencia para la determinación de material particulado fino como PM_{2,5} en la atmósfera".
- NTP 900.030:2018 MONITOREO DE CALIDAD AMBIENTAL. Calidad de aire. Método de referencia para la determinación de material particulado respirable como PM₁₀ en la atmósfera.
- OCDE y CEPAL (2016). Evaluación de Desempeño Ambiental del Perú. Naciones Unidas, Santiago.
- Ontario Ministry of the Environment (2004). Air Quality in Ontario 2003 Report [Reporte 2003 de la calidad del aire en Ontario].
- Passam Ag (2018) Nitrogen oxides [Óxidos de nitrógeno]. Recuperado de: <http://www.passam.ch/wp/nox>
- Portland Cement Association (2003). Mercury Emission and Speciation from Portland Cement Kilns. [Emisión de mercurio y especiación de hornos de cemento Portland]. R&D Serial No. 2567a, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, USA.
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2017). Convenio de Minamata sobre el Mercurio – Texto y Anexos. Recuperado de <http://www.mercuryconvention.org/Portals/11/documents/Booklets/COP1%20version/Minamata-Convention-booklet-sp-full.pdf>.
- Puxbaum, H. & Baumann, H. (1984). Vertical concentration profiles of traffic derived components in a street canyon [Perfiles de concentración vertical de componentes derivados del tráfico en un cañon urbano]. The Science of the Total Environment 36:47-52.
- Reference Method for the Determination of Fine Particulate Matter as PM_{2,5} in the Atmosphere [Método de referencia para la determinación de material particulado fino como PM_{2.5} en la atmósfera]. Code of Federal Regulations 40, Appendix L to Part 50, U.S.A., 15 de febrero del 2017.
- Reference Method for the Determination of Lead in Particulate Matter as PM₁₀ Collected from Ambient Air [Método de referencia para la determinación de plomo en material particulado



- como PM10 recolectado del aire]. Code of Federal Regulations 40, Appendix L to Part 50, U.S.A., 15 de febrero del 2017.
- Registro Federal de los Estados Unidos de América, volumen 42, página 62972, Washington, US, 14 de diciembre del 1977.
 - Resolución Ministerial N° 305-2017-MINAM, aprueba Lineamientos para el Fortalecimiento e incorporación de los Grupos de Estudio Técnico Ambiental de la Calidad del Aire en las Comisiones Ambientales Municipales Provinciales Lima, Perú, 19 de octubre del 2017.
 - Resolución Ministerial N° 020-2018-MINAM, aprueba Lineamientos para la determinación de las Zonas de Atención Prioritaria Lima, Perú, 19 de enero del 2018.
 - Sajani, Z. *et al.* (2004). Urban air pollution monitoring and correlation properties between fixed-site stations [Monitoreo de la contaminación urbana del aire y propiedades correlativas entre estaciones "fixed-site"]. *Journal of the Air and Waste Management Association* 54:1236-1241.
 - Sarnia Lambton Environmental Association (2006). 2004 Annual Report Sarnia Air Monitoring Program [Reporte anual del 2004 sobre el programa de monitoreo del aire de Sarnia]. ORTECH Environmental Report No. 50200. January 27, 2006.
 - Schwab, J. *et al.* (2004). Laboratory characterization of modified tapered element microbalance samplers [Caracterización de laboratorio de muestreadores de microbalanzas de elementos cónicos modificados]. *Journal of the Air and Waste Management Association* 54:1254- 1263.
 - Schwab, J. *et al.* (2006). New York State urban and rural measurements of continuous PM_{2.5} mass by FDMS, TEOM, and BAM [Mediciones urbanas y rurales del estado de Nueva York de la masa continua de PM_{2.5} por FDMS, TEOM y BAM]. *Journal of the Air and Waste Management Association* 56:372-383.
 - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (1999) Inventario de emisiones de los estados de la frontera norte de México. México.
 - Seinfeld, J. & Pandis, S. (2006). Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change [Química y física atmosférica: De contaminación del aire a cambio climático]. 2nd edition.
 - Sem, J. & Borgos, W. (1975). Experimental investigation of the exponential attenuation of beta radiation for dust measurements [Investigación experimental de la atenuación exponencial de la radiación beta para mediciones de polvo]. *Staub-Reinhalte. Luft* 35:5-9.
 - Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2013). Protocolo para la instalación y operación de estaciones meteorológicas, agrometeorológicas e hidrológicas. Lima-Perú
 - Shin, S. *et al.* (2011). Analysis of the Measurement Difference for the PM₁₀ Concentrations between Beta-ray Absorption and Gravimetric Methods at Gosan [Análisis de las diferencias entre la absorción de rayos beta y los métodos gravimétricos para la medición de PM₁₀ en Gosan]. *Aerosol and Air Quality Research Journal*.
 - Silva, L. *et al.* (2009). Contribution to atmospheric benzene concentrations of the petrol stations in a mid-sized city [Contribución a las concentraciones de benceno atmosférico de las estaciones de gasolina en una ciudad de tamaño medio]. *Management of Natural Resources, Sustainable Development and Ecological Hazards II*.
 - Takahashi, K. *et al.* (2008). Examination of discrepancies between beta-attenuation and gravimetric methods for the monitoring of particulate matter [Examen de las discrepancias entre la atenuación beta y los métodos gravimétricos para el monitoreo de partículas]. *Atmospheric Environment Journal*.





- Trieu-Vuong, D. *et al.* (2016). A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction [Revisión de sensores de gas infrarrojo no-dispersivo: Mejoramiento del límite de detección del sensor y corrección de interferencia].
- TUV (2018). Certified equipment for continuous emission and ambient air monitoring [Equipamiento certificado para el monitoreo continuo de emisiones y aire ambiente]. Recuperado de: <https://qal1.de/en/komponenten.htm>
- US Environmental Protection Agency (1999). Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air. [Compendio de métodos para la determinación de componentes inorgánicos en el aire]. Cincinnati, OH 45268.
- US Environmental Protection Agency (2008). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume IV: Meteorological Measurements Version 2.0 (Final) [Manual de aseguramiento de la calidad para los sistemas de medición de contaminación del aire. Volumen IV Mediciones meteorológicas versión 2.0 (final)], Estados Unidos de América. EPA-454/B-08-002.
- US Environmental Protection Agency (2009). AP-42: Compilation of Air Emissions Factors [AP-42: Compilación de Factores de Emisiones al Aire]. Recuperado de <https://www.epa.gov/air-emissions-factors-and-quantification/ap-42-compilation-air-emissions-factors>.
- US Environmental Protection Agency (2011). Reference and equivalent method applications. Guidelines for applicants [Aplicaciones de referencia y métodos equivalentes, Guía para solicitantes]. Research Triangle Park, NC 27711, USA.
- US Environmental Protection Agency (2014). Fact sheet for trace level SO₂ monitoring method [Hoja de datos para el método de monitoreo de SO₂ a nivel de seguimiento].
- US Environmental Protection Agency (2017). Quality Assurance Handbook for Air Pollution Measurement Systems. Volume II Ambient Air Quality Monitoring Program [Manual de aseguramiento de la calidad para los sistemas de medición de contaminación del aire. Volumen II Programa de Monitoreo de la Calidad Ambiental del Aire], Estados Unidos de América. EPA-454/B-17-001.
- US Environmental Protection Agency (2018). EPA scientists develop Federal Reference & Equivalent Methods for measuring key air pollutants [Científicos de la EPA desarrollan una referencia Federal y métodos equivalentes de medición para contaminantes clave del aire]. Recuperado de <https://www.epa.gov/air-research/epa-scientists-develop-federal-reference-equivalent-methods-measuring-key-air>.
- US Environmental Protection Agency (2019). List of designated reference and equivalent methods, Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, NC 27711, USA [Lista de métodos de referencia y equivalentes designados, Agencia de Protección Ambiental]. Recuperado de: https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-06/documents/list_of_designated_reference_and_equivalent_methods_0.pdf
- Washington State Department of Ecology (2017). PM_{2.5} and PM₁₀ Beta Attenuation Monitor Operating Procedure [Procedimiento operacional del monitor beta para la atenuación de PM_{2.5} and PM₁₀] Air Quality Program.
- Wedding, B. & Weigand, A. (1993). An automatic particle sampler with beta gauging [Un muestreador automático de partículas con medidor beta]. Journal of the Air and Waste Management Association 43:475-479.
- William E. *et al.* (2006). The Measurement of Fine Particulate Semivolatile Material. [Las mediciones de material particulado fino semivolátil]. Journal of the Air & Waste Management Association, 56:4, 384-397.

y



- Zapata C. *et al.* (2008). Fortalecimiento de la Red de Monitoreo de Calidad del Aire en el Valle de Aburra con Medidores Pasivos. *Gestión y Ambiente*, vol. 11, núm. 1. Universidad Nacional de Colombia.

O. ABREVIATURAS

AP-42:	Compilación de factores de emisiones al aire.
As:	Arsénico.
ASTM:	Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.
BAM:	Métodos de atenuación de radiación beta.
BTX:	Benceno, Tolueno y Xileno.
C-14:	Carbono 14.
C ₆ H ₆ :	Benceno.
CAPS:	Cavidad por Atenuación de Desplazamiento de Fase.
CARB:	Agencia de Calidad del Aire de California.
CE:	Comunidad Europea.
CEN:	Comité Europeo de Normalización.
CEPAL:	Comisión Económica para América Latina y el Caribe.
CFR:	Código de Regulaciones Federales, de los Estados Unidos
CG:	Cromatografía de gases.
CO:	Monóxido de carbono.
COV:	Compuesto(s) orgánico(s) volátil(es).
CSV:	Documento con valores separados por comas.
CTBE/CNPEM:	Laboratorio Nacional de Ciencia y Tecnología del Bioetanol / Centro Nacional de Investigación en Energía y Materiales.
CV:	Coefficiente de variación.
CVAAS:	Espectrometría de absorción atómica de vapor frío.
CVAFS:	Espectrometría de fluorescencia atómica de vapor frío.
DGCA:	Dirección General de Calidad Ambiental.
DIGESA:	Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria.
DNI:	Documento Nacional de Identidad.
DV:	Dirección de Viento.
ECA:	Estándar de Calidad Ambiental.
EIA:	Estudio(s) de Impacto Ambiental
EFA:	Entidad(es) de Fiscalización Ambiental.
EMEP/EEA:	Programa Europeo de Monitoreo y Evaluación y la Agencia Europea de Medio Ambiente.
EPA:	Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.
FDMS:	Sistema de medición por filtro dinámico.
FEM:	Métodos Equivalentes.
FID:	Detector o técnica por ionización de flama.





FRM:	Métodos de Referencia.
GFC:	Correlación por filtro de gas.
He:	Helio.
H ₂ S:	Sulfuro de hidrógeno.
IAAC:	Cooperación Interamericana de Acreditación.
ICP-MS:	Inducción conductiva de plasma con espectrometría másica.
ICP-OES:	Inducción conductiva de plasma con espectrometría de emisión óptica.
IEC:	Comisión Electrotécnica Internacional.
ILAC:	Cooperación Internacional de Acreditación de Laboratorios.
IGA:	Instrumento de Gestión Ambiental.
INACAL:	Instituto Nacional de la Calidad
ISO:	Organización Internacional de Normalización.
IR:	Infrarrojo.
JICA:	Agencia Internacional de Cooperación Japonesa.
LPM:	Litros por minuto.
MCerts:	Esquema de Certificación de Monitoreo de la Agencia Ambiental de Reino Unido.
MINAM:	Ministerio del Ambiente.
MGE:	Mercurio Gaseoso Elemental.
MGR:	Mercurio Gaseoso Reactivo.
MGT:	Mercurio Gaseoso Total.
N ₂ :	Nitrógeno Molecular.
NDIR:	Infrarrojo No Dispersivo.
NO:	Monóxido de Nitrógeno.
NO ₂ :	Dióxido de Nitrógeno.
NO _x :	Óxidos de Nitrógeno = NO + NO ₂ .
NTP:	Norma Técnica Peruana.
O ₃ :	Ozono troposférico.
OCDE:	Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico.
OEFA:	Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
OMM:	Organización Meteorológica Mundial.
OMS:	Organización Mundial de la Salud.
PAMA:	Programa(s) de Adecuación y Manejo Ambiental.
Pb:	Plomo.
PCM:	Presidencia del Consejo de Ministros.
PID:	Detector o técnica de fotoionización.
PLANEFA:	Plan Anual de Evaluación y Fiscalización Ambiental.
PM ₁ :	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 1 micra.
PM ₁₀ :	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 10 micras.
PM _{2,5} :	Material particulado con diámetro aerodinámico menor a 2,5 micras.
PRODUCE:	Ministerio de la Producción.





PTFE:	Filtro de politetrafluoroetileno (teflón).
PTS:	Partículas Totales en Suspensión.
SCC:	Separador selectivo de PM ₁ , del tipo ciclón, denominado "Sharp Cut Cyclone 2.229".
SENAMHI:	Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.
SO ₂ :	Dióxido de Azufre.
SPAN:	Concentración conocida.
TCM:	Tetracloromercurato de potasio.
TEA:	Trietanolamina.
TEOM:	Microbalanza oscilatoria de elemento cónico.
TUV:	Organizaciones certificadoras alemanas
UPS:	Unidad de provisión de energía.
UV:	Ultravioleta.
VSCC:	Separador selectivo de PM _{2,5} , del tipo ciclón, denominado "Very Sharp Cut Cyclone".
VV:	Velocidad de viento.
WINS:	Separador selectivo de PM _{2,5} , del tipo impactador, denominado "Well Impactor Ninety-Six".
XRF:	Espectroscopia de Fluorescencia de rayos X.
ZAP:	Zona de Atención Prioritaria.



P. ANEXOS

- Guía para el cálculo de promedios comparables con su correspondiente ECA.
- Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA 01)
- Ficha del equipo de monitoreo (FA-02)
- Lista de chequeo (FC-01)

GUÍA PARA EL CÁLCULO DE PROMEDIOS COMPARABLES CON SU CORRESPONDIENTE ECA

a) Cuando se busca comparar con el ECA horario

Este caso es aplicable a los ECA horarios, como los establecidos para NO₂ y CO.

a.(i) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética de determinada hora, corresponde al promedio de los últimos 60 minutos.

Por ejemplo: La media aritmética de las 16:00 horas, corresponde al promedio de todas las concentraciones por minuto desde las 15:01 horas hasta las 16:00. Esto puede ser reportado directamente por el equipo o calculado desde el datalogger correspondiente.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 45 minutos de información válida para generar cada promedio horario.

- 2) A efectos de la comparación con el ECA horario se selecciona, para cada día, el promedio horario más alto que se haya presentado dentro de las 24 horas del día. Por consiguiente para un mes (30 días) se cuentan con 30 valores comparables con el ECA horario.

a.(ii) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Cada 6 días se toma una muestra de una hora⁶⁴ (mínimo 54 minutos para cumplir con el criterio de suficiencia de información).

Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de una hora en la cual se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad.



- 2) Cada una de las concentraciones horarias obtenidas se comparan con el ECA horario; por consiguiente para un mes (30 días) se cuentan con 5 valores comparables con el ECA horario.

a.(iii) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética de determinada hora, corresponde al promedio de los últimos 60 minutos.

⁶⁴ Este criterio no restringe la posibilidad de realizar muestreos con una mayor frecuencia.

Por ejemplo: La media aritmética de las 16:00 horas, corresponde al promedio de todas las concentraciones por minuto desde las 15:01 horas hasta las 16:00. Esto puede ser reportado directamente por el equipo o calculado desde el datalogger correspondiente.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 45 minutos de información válida para generar cada promedio horario.

- 2) A efectos de la comparación con el ECA horario se selecciona, para cada día, el promedio horario más alto que se haya presentado dentro de las 24 horas del día. Por consiguiente para cada campaña se cuentan con 5 valores comparables con el ECA horario.

a. (iv) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Una opción es que durante cada campaña de 5 días consecutivos, se tome una muestra de una hora (mínimo 54 minutos para cumplir con el criterio de suficiencia de información) para cada día.

Otra opción es que cada campaña dure un mes y, con una frecuencia de cada 6 días se tome una muestra de una hora, obteniéndose 5 muestras por campaña.

Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de una hora en la cual se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad.

- 2) Cada una de las concentraciones horarias obtenidas se comparan con el ECA horario; por para cada campaña se cuentan con 5 valores comparables con el ECA horario.

b) Cuando se busca comparar con el ECA de 8 horas

Este caso es aplicable a los ECA de 8 horas, como los establecidos para O₃ y CO.

b. (i) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética móvil de 8 horas para determinada hora, corresponde al promedio de sus últimas 8 horas.

Por ejemplo: La media aritmética móvil de 8 horas para las 16:00 horas, corresponde al promedio de todas las concentraciones horarias reportadas desde las 09:00 horas hasta las 16:00.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 6 horas de información válida para generar cada media aritmética móvil de 8 horas.



- 2) A efectos de la comparación con el ECA de 8 horas se selecciona, para cada día, la media aritmética móvil más alta que se haya registrado. Por consiguiente para un mes (30 días) se cuentan con 30 valores comparables con el correspondiente ECA.

b. (ii) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Cada 6 días se toma una muestra de 8 horas⁶⁵ (mínimo 7 horas para cumplir con el criterio de suficiencia de información).

Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de un periodo en el cual se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad. En el caso del monitoreo de O₃, también deben tomarse en cuenta las horas de mayor radiación solar.

- 2) Cada una de las concentraciones de 8 horas obtenidas se comparan con el ECA correspondiente; por consiguiente para un mes (30 días) se cuentan con 5 valores comparables con el ECA.

b. (iii) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética móvil de 8 horas para determinada hora, corresponde al promedio de sus últimas 8 horas.

Por ejemplo: La media aritmética móvil de 8 horas para las 16:00 horas, corresponde al promedio de todas las concentraciones horarias reportadas desde las 09:00 horas hasta las 16:00.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 6 horas de información válida para generar cada media aritmética móvil de 8 horas.

- 2) A efectos de la comparación con el ECA de 8 horas se selecciona, para cada día, la media aritmética móvil más alta que se haya registrado. Por consiguiente para cada campaña se cuentan con 5 valores comparables con el correspondiente ECA.

b. (iv) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Una opción es que durante cada campaña de 5 días consecutivos, se tome una muestra de 8 horas (mínimo 6 horas para cumplir con el criterio de suficiencia de información) para cada día.

⁶⁵ Este criterio no restringe la posibilidad de realizar muestreos con una mayor frecuencia.



Otra opción es que cada campaña dure un mes y, con una frecuencia de cada 6 días se tome una muestra de 8 horas, obteniéndose 5 muestras por campaña.

Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de un periodo en el cual se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad. En el caso del monitoreo de O₃, también deben tomarse en cuenta las horas de mayor radiación solar.

- 2) Cada una de las concentraciones de 8 horas obtenidas se comparan con el ECA correspondiente; por consiguiente para cada campaña se cuentan con 5 valores comparables con el ECA.

c) Cuando se busca comparar con el ECA diario (24 horas)

Este caso es aplicable a los ECA de 24 horas, como los establecidos para SO₂, PM_{2,5}, PM₁₀, MGT y H₂S.

c.(i) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética diaria corresponde al promedio de las 24 horas de un día, desde la primera concentración horaria reportada a las 01:00 horas hasta la última concentración del día, reportada a las 00:00 del día siguiente.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 18 horas de información válida (por día) para generar cada media aritmética diaria.

- 2) Por consiguiente para un mes (30 días) se cuentan con 30 valores comparables con el correspondiente ECA de 24 horas.

c.(ii) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Cada 6 días se toma una muestra de 24 horas⁶⁶ (mínimo 22 horas para cumplir con el criterio de suficiencia de información).

Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de periodos en los cuales se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad.

- 2) Cada una de las concentraciones diarias obtenidas se comparan con el ECA correspondiente; por consiguiente para un mes (30 días) se cuentan con 5 valores comparables con el ECA.



⁶⁶

Este criterio no restringe la posibilidad de realizar muestreos con una mayor frecuencia.



c. (iii) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética diaria corresponde al promedio de las 24 horas de un día, desde la primera concentración horaria reportada a las 01:00 horas hasta la última concentración del día, reportada a las 00:00 del día siguiente.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 18 horas de información válida (por día) para generar cada media aritmética diaria.

- 2) Por consiguiente para cada campaña se cuentan con 5 valores comparables con el correspondiente ECA.

c. (iv) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Una opción es que durante cada campaña de 5 días consecutivos, se tome una muestra de 24 horas (mínimo 22 horas para cumplir con el criterio de suficiencia de información) para cada día.

Otra opción es que cada campaña dure un mes y, con una frecuencia de cada 6 días se tome una muestra de 24 horas, obteniéndose 5 muestras por campaña.

Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de periodos en los cuales se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad.

- 2) Cada una de las concentraciones diarias obtenidas se comparan con el ECA correspondiente; por consiguiente para cada campaña se cuentan con 5 valores comparables con el ECA.



d) Cuando se busca comparar con el ECA mensual

Este caso es aplicable a los ECA de periodo mensual, como el establecido para Pb en PM₁₀.

d. (i) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética mensual corresponde al promedio todas las concentraciones diarias registradas para cada mes.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 23 días de información válida (por mes) para generar cada media aritmética mensual.



- 2) Por consiguiente para un mes (30 días) se cuenta con un solo valor comparable con el correspondiente ECA.

d.(ii) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Una opción es que cada 6 días se tome una muestra de 24 horas⁶⁷, y que se promedien todas las concentraciones diarias obtenidas dentro del mes (mínimo 5 concentraciones diarias por mes para cumplir con el criterio de suficiencia de información).

Otra opción es que mediante sistemas pasivos (de aplicar para el parámetro de interés), se colecte una "muestra integrada de un mes"⁶⁸ para cada mes.

- 2) Por consiguiente para un mes (30 días) se cuentan con un solo valor comparable con el correspondiente ECA.

d.(iii) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética mensual corresponde al promedio todas las concentraciones diarias registradas para cada campaña.



Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 14%, es necesario que se cuenten al menos con 5 días de información válida para generar cada media aritmética mensual.

- 2) Por consiguiente para cada campaña se cuenta con un solo valor comparable con el correspondiente ECA.

d.(iv) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Una opción es que durante cada campaña de 5 días consecutivos, se tome una muestra de 24 horas para cada día.

Otra opción es que cada campaña dure un mes y, con una frecuencia de cada 6 días se tome una muestra de 24 horas, obteniéndose 5 muestras por campaña.

Una opción adicional es que mediante sistemas pasivos (de aplicar para el parámetro de interés), se colecte una "muestra integrada de un mes" para cada campaña.

⁶⁷

Este criterio no restringe la posibilidad de realizar muestreos con una mayor frecuencia.

⁶⁸

El término "muestra integrada de un mes" se refiere a una sola muestra cuya colección inicia el primer día del mes y culmina el último día del mes, sin interrupciones durante la acción de muestreo.



Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de periodos en los cuales se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad.

- 2) Por consiguiente para cada campaña se cuentan con un único valor comparable con el correspondiente ECA.

e) Cuando se busca comparar con el ECA anual

Este caso es aplicable a los ECA de periodo anual, como el establecido para Pb en PM₁₀, C₆H₆, PM_{2,5}, y PM₁₀.

e.(i) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética anual corresponde al promedio todas las concentraciones mensuales obtenidas a lo largo de cada año.

Considerando que la mínima suficiencia de información para este caso corresponde a 75%, es necesario que se cuenten al menos con 9 meses de información válida (por año) para generar cada media aritmética anual.



Por consiguiente para un año se cuenta con un solo valor comparable con el correspondiente ECA.

e.(ii) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 3

- 1) Una opción es que cada 6 días se tome una muestra de 24 horas⁶⁹, y que se promedien todas las concentraciones diarias obtenidas dentro del mes (mínimo 5 concentraciones diarias por mes para cumplir con el criterio de suficiencia de información). Luego que se promedien cada una de las concentraciones mensuales obtenidas (mínimo 9 concentraciones mensuales por año para cumplir con el criterio de suficiencia de información).

Otra opción es que durante 30 días contiguos (para verano e invierno) se tomen muestras diarias, y que luego se promedien cada una de las concentraciones diarias obtenidas (mínimo 60 días o, en otras palabras, 2 concentraciones mensuales por año para cumplir con el criterio de suficiencia de información).

Una última opción es que mediante sistemas pasivos (de aplicar para el parámetro de interés), se colecte una "muestra integrada de un mes"⁷⁰ (para verano e invierno). Luego que se

⁶⁹ Este criterio no restringe la posibilidad de realizar muestreos con una mayor frecuencia.

⁷⁰ El término "muestra integrada de un mes" se refiere a una sola muestra cuya colección inicia el primer día del mes y culmina el último día del mes, sin interrupciones durante la acción de muestreo.



promedien cada una de las concentraciones mensuales obtenidas (mínimo 2 concentraciones mensuales por año para cumplir con el criterio de suficiencia de información).

- 2) Por consiguiente para un año se cuenta con un solo valor comparable con el correspondiente ECA.

e. (iii) Si el monitoreo es realizado con métodos automáticos y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Se deben reportar todas las medias aritméticas horarias.

Es importante no olvidar que la media aritmética anual corresponde al promedio todas las concentraciones mensuales obtenidas en un año.

- 2) Por consiguiente para un año se cuenta con un solo valor comparable con el correspondiente ECA.

e. (iv) Si el monitoreo es realizado con métodos manuales y según lo indicado en la tabla 4

- 1) Una opción es que, por campaña, durante 30 días contiguos se tomen muestras diarias, y que luego se promedien cada una de las concentraciones diarias obtenidas a lo largo del año.



Otra opción es que mediante sistemas pasivos (de aplicar para el parámetro de interés), se colecte una "muestra integrada de un mes" para cada campaña, y que luego se promedien cada una de las concentraciones mensuales obtenidas a lo largo del año.

Es importante que el muestreo sea realizado a lo largo de periodos en los cuales se espera que la fuente o fuentes relacionadas al monitoreo de la calidad del aire presenten una mayor actividad.

- 2) Por consiguiente para un año se cuenta con un solo valor comparable con el correspondiente ECA.



Ficha base de red o estación de monitoreo de la calidad del aire (FA 01)

Layout (vista de planta + vista de corte que permita evidenciar el cumplimiento de los criterios I.1)

En caso de no haberse podido cumplir con todos los criterios del I.1, sustente los motivos y explique si afecta o no al cumplimiento del objetivo de monitoreo:



Descripción de los requisitos auxiliares conforme a I.2
(en caso se utilicen analizadores automáticos de gases, se debe calcular el tiempo de residencia de la entrada de muestra)

Equipo o sistema auxiliar	Descripción	Indicar si cumple con los criterios de I.2

Descripción de la estación meteorológica utilizada

Parámetro	Método	Unidades	Rango	Resolución	Altura sobre el suelo	Distancia horizontal con respecto a obstáculo más cercano	Comentarios

Nombre completo del encargado de la red o estación de monitoreo	Profesión	DNI	Empresa / Institución	Firma
---	-----------	-----	-----------------------	-------

Nota 1: Todo sustento que se base en documentación técnica, informes, u otro tipo, debe ser adjuntado al presente formato.



Ficha del equipo de monitoreo (FA-02)

Ficha del equipo de monitoreo					
Nombre					
Parámetro de medición					
Marca					
Modelo					
Número de serie					
A continuación, en caso correspondiente, detalle y sustente el cumplimiento del método de referencia o equivalente:					
Sustento de utilización del método de referencia o equivalente:					
N°	Consideración técnica	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo E del protocolo, norma técnica, manual del fabricante)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento de la consideración técnica
En caso el equipo no aplique un método de referencia o equivalente, indique cuál es el sustento de su utilización y las consideraciones técnicas a cumplir:					
Sustento de utilización del método o procedimiento:					
N°	Consideración técnica	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo del protocolo, norma técnica, manual del fabricante u otro)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento de la consideración técnica
CALIBRACIÓN					
El equipo es calibrado de conformidad con lo establecido en el capítulo J del protocolo, detalle y sustente:					
N°	Criterio de calibración estipulado	Tipo de documento fuente que lo estipula (capítulo del protocolo, norma técnica, manual del fabricante u otro)	Nombre del documento fuente	Sección / capítulo / página del documento fuente	Evidencia del cumplimiento del criterio de calibración
Nombre completo del encargado de la calibración	Equipo o dispositivo calibrado	Profesión	DNI	Empresa / Institución	



Nota 1: Todo sustento que se base en documentación técnica, informes, certificados, data original u otro tipo, debe ser adjuntado al presente formulario.



Lista de chequeo (FC-01)

Estaciones que conforman la red:
1) Código 1 // 2) Código 2 // ... // n) Código n

Objetivo de la red de monitoreo:	
Enfoques de la red de monitoreo:	

Información de la Estación Código 1					
Descripción	Localización - Coordenadas UTM			Clasificación	
	Norte (m)	Este (m)	Altura (msnm)	Por su finalidad	Por su escala

Parámetros de medición

N°	Criterios de control /chequeo	SI	NO	Explique
1	¿Se ha sustentado adecuadamente la localización de la estación?			
2	¿Se han sustentado adecuadamente los parámetros de medición de la estación?			
3	¿Se han sustentado adecuadamente la frecuencia y periodo para cada uno de los parámetros de medición de la estación?			
4	¿Se ha seleccionado el método de medición adecuado para cada parámetro?			
5	¿Se cumple con todos los criterios técnicos y requisitos auxiliares establecido en la sección I del protocolo de monitoreo?			
6	¿Los métodos seleccionados para cada parámetro cumplen con las consideraciones técnicas requeridas?			
7	¿Los equipos de medición de la estación son calibrados de conformidad con lo establecido en el capítulo J del protocolo?			
8	¿Los equipos de medición de la estación son operados y mantenidos de conformidad con lo establecido en el capítulo K del protocolo?			
9	¿El procesamiento y reporte de la información de la estación de monitoreo se realiza de conformidad a lo establecido en el capítulo L del protocolo?			



Nota 1: Todo sustentado que se base en documentación técnica, informes, certificados, data original u otro tipo, debe ser adjuntado al presente formato.

Anexo VI. Certificación de mediciones de calidad de Aire



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Lima, 30 de abril de 2025

CARTA N° 956 - 2025 - PRODUCE/PROINNOVATE.UES

Sr(a). JOSE LUIS HUAYANAY VILLAR
 Representante Legal

Sr(a).
 Coordinador General del Proyecto

VILLA AUTOMATION E.I.R.L.

Presente.-

Referencia: **PIEC1-1-F-363-24**
 Concurso: **INNOVACIÓN EMPRESARIAL - ProInnovate**

Previo cordial saludo, nos dirigimos a usted a fin de comunicarle que el Ficha/Perfil de proyecto "Sistemas inteligente para el control del recurso hídrico, temperatura y dióxido de carbono en la agricultura, Ayacucho-peru" de código PIEC1

En la Hoja de Evaluación usted encontrará los aspectos por mejorar, recomendados por los evaluadores externos.

Sin otro particular, me despido de usted.

Atentamente,

Unidad de Evaluación y Selección
 ProInnovate

Evaluación de Ficha de Proyecto

Título del Proyecto	Código de Ficha
Sistemas inteligente para el control del recurso hídrico, temperatura y dióxido de carbono en la agricultura, Ayacucho-peru	PIEC1-1-F-363-24
Entidad Solicitante:	Resultado:
VILLA AUTOMATION E.I.R.L.	Aprobado

Hoja de Calificación

PUNTAJES FINALES	3	3
I.-Ventaja Competitiva/productiva: La solución innovadora presenta atributos diferenciales con relación a la oferta existente.	3	3
Ventaja Competitiva/productiva: La solución innovadora presenta atributos diferenciales con relación a la oferta existente.	3	3
II.-La solución innovadora aborda un problema o desafío u oportunidad relevante en la industria, mercado o sociedad el cual se encuentra claramente identificado y justifica la propuesta de innovación tecnológica o productiva.	3	3
La solución innovadora aborda un problema o desafío u oportunidad relevante en la industria, mercado o sociedad el cual se encuentra claramente identificado y justifica la propuesta de innovación tecnológica o productiva.	3	3
III.-Mercado Potencial de la Innovación.	3	3
Mercado Potencial de la Innovación.	3	3

Comentarios finales

EV-01

Jr. Juan Bielovucich 1325 - Lince, Lima- Perú

Teléfono: (01) 6404420

www.gob.pe/proinnovate



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Lima, 30 de abril de 2025

CARTA N° 956 - 2025 - PRODUCE/PROINNOVATE.UES

**Ministerio de la Producción
Viceministerio de MYPE e Industria
Certifica que:**

VILLA AUTOMATION S.A.C.
Con RUC: 20610009400
Ha fabricado el producto denominado:

Sistema inteligente para mediciones de calidad de Aire ou dióxido de carbono-Co2

Modelo: SmartEnv-HVAC

Serie: VAX-3000

El cual ha sido evaluado y cumple con los estándares técnicos y normativos para su fabricación y uso en el sector productivo. Este dispositivo contribuye a la modernización y eficiencia de las prácticas agrícolas, ambientes, oficinas, etc.

El Ministerio de la Producción reconoce el desarrollo y la calidad de este producto como un aporte al fortalecimiento de la industria nacional y la innovación tecnológica en la agricultura.



Código registro
PROINNOVATE

Jr. Juan Bielovucich 1325 - Lince, Lima- Perú

Teléfono: (01) 6404420

www.gob.pe/proinnovate



CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD N°0106-2025-UNSCH-EPG/OGH

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajo de tesis de Posgrado en segunda instancia para la **Escuela de Posgrado – UNSCH**; en cumplimiento a la Resolución De Consejo Directivo N°109-2024-UNSCH-EPG/CD, Reglamento de Originalidad de trabajos de Investigación de la UNSCH, otorga lo siguiente:

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

AUTOR	Bach. Jaime REDOLFO YUPANQUI
DENOMINACIÓN DEL PROGRAMA DE ESTUDIOS	MAESTRÍA EN INGENIERÍA AMBIENTAL
GRADO ACADÉMICO QUE OTORGA	MAESTRO
DENOMINACIÓN DEL GRADO ACADÉMICO	MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
TÍTULO DE TESIS	Modelamiento de escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023
EVALUACIÓN DE ORIGINALIDAD	14% de similitud
N° DE TRABAJO	2772611928
FECHA	06 de octubre de 2025

Por tanto, según los artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es procedente otorgar la constancia de originalidad con depósito.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que crea conveniente.

06 de octubre de 2025.


UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA
ESQUELA DE POSGRADO
Dr. Oscar Gutiérrez Huamani
Director (e)

CC.
Archivo
OGH/rjcg

Modelamiento de escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023

por Jaime REDOLFO YUPANQUI

Fecha de entrega: 06-oct-2025 06:52a. m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2772611928

Nombre del archivo: e_Redolfo_Yupanqui_Borradora_Corregido_2_2024_O_I_II_III_IV.docx (87.02M)

Total de palabras: 15493

Total de caracteres: 87270

Modelamiento de escalas de contaminación del aire por el tráfico vehicular en el distrito de Ayacucho, 2023

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga Trabajo del estudiante	2%
2	repositorio.unsch.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
5	repositorio.uch.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.upea.bo Fuente de Internet	1%
7	docplayer.es Fuente de Internet	1%
8	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	1%

9	recyt.fecyt.es Fuente de Internet	1 %
10	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	1 %
11	Submitted to Universidad Europea de Madrid Trabajo del estudiante	1 %
12	aulavirtual.cultura.pe Fuente de Internet	<1 %
13	repositorio.unam.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
14	es.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Institución Tecnológica Metropolitana de Medellín Trabajo del estudiante	<1 %
16	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
19	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

www.solerpalau.com

20

Fuente de Internet

<1 %

21

www.researchgate.net

Fuente de Internet

<1 %

22

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1 %

23

arcaelectronica.blogspot.com

Fuente de Internet

<1 %

Excluir citas

Activo

Excluir coincidencias

< 30 words

Excluir bibliografía

Activo

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OPTAR
EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL
RESOLUCIÓN DIRECTORAL N°00629-2025-UNSCH-EPG/D.**

Siendo las 04:00 p.m. del 04 de agosto de 2025 se reunieron en el auditorium de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis, presidido por el **Mg. ROALDO PINO ANAYA** Director (e) de la Escuela de Posgrado, el **Mg. EUSEBIO DE LA CRUZ FERNANDEZ** Director de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia, e integrado por los siguientes miembros: **Mtro. HERNAN PEDRO QUISPE** y el **Dr. LEON FERNANDO PEREZ CHAUCA**; para la sustentación oral y pública de la tesis titulada: **MODELAMIENTO DE ESCALAS DE CONTAMINACIÓN DEL AIRE POR EL TRÁFICO VEHICULAR EN EL DISTRITO DE AYACUCHO, 2023**, presentado por el **Bach. JAIME REDOLFO YUPANQUI**. Teniendo como asesor al **Dr. EDGAR ARONES MEDINA**.

Acto seguido se procedió a la exposición de la tesis, con el fin de optar el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Formuladas las preguntas, éstas fueron absueltas por el graduando.

A continuación, el Jurado Examinador y Calificador de Tesis procedió a la votación, la que dio como resultado el siguiente calificativo: Catorce (14).

CALIFICACION (x)

Aprobado(a) por Unanimidad.	✓
Aprobado(a) por Mayoría.	
Desaprobado(a) por Unanimidad.	
Desaprobado(a) por Mayoría.	

(x) Marcar con aspa.

Luego, el presidente del Jurado recomienda que la Escuela de Posgrado proponga que se le otorgue al **Bach. JAIME REDOLFO YUPANQUI**, el Grado Académico de **MAESTRO(A) EN INGENIERÍA AMBIENTAL**. Siendo las.....17:50.....hrs. se levanta la sesión.

Se extiende el acta en la ciudad de Ayacucho, a las.....17:50.....hrs. del 04 de agosto de 2025.

.....
Mg. ROALDO PINO ANAYA
Director(e) de la Escuela de Posgrado.

.....
Mg. EUSEBIO DE LA CRUZ FERNANDEZ
Director de la UPG-FIQM

.....
Mtro. HERNAN PEDRO QUISPE
Miembro.

.....
Dr. LEON FERNANDO PEREZ CHAUCA
Miembro.

.....
Dr. JOSÉ ALARCÓN GUERRERO
Secretario Docente.

Observaciones:

.....
.....
.....