# INFORME MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DEL AIRE EN EL MARCO DEL LICENCIAMIENTO AMBIENTAL DEL PROYECTO “CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTACIÓN TERMINAL Y LÍNEAS ASOCIADAS A 115 kV" DE PROPIEDAD DE CONDENSA S.A.S ESP

**NORMATIVA APLICADA: RESOLUCIÓN NÚMERO 2254 DE 2017. MADS**

| Elaboró: | Revisó: | Aprobó: |
|---|---|---|
| *HELGA LUCÍA PÉREZ VERA* | *JHON ALEXANDER ROJAS ARDILA* | *LINA JULIANA HOYOS RODRIGUEZ* |
| **Coordinadora de Proyectos** | **Director de Calidad** | **Directora de Laboratorio** |

**REALIZADO POR:**

**PRESENTADO POR**

## CONTENIDO

**1 INTRODUCCIÓN ..... 6**

**2 OBJETIVOS, ALCANCE Y PROPÓSITO ..... 7**

*2.1 PROPÓSITO ..... 7*

*2.2 ALCANCE ..... 7*

*2.3 OBJETIVOS ..... 7*

**3 MARCO CONCEPTUAL ..... 8**

*3.1 NORMATIVIDAD ..... 9*

3.1.1 Resolución 2254 de 2017 ..... 9

3.1.2 Resolución 2154 de 2010 ..... 12

*3.2 METODOLOGÍA Y CONTAMINANTES ..... 14*

3.2.1 MATERIAL PARTICULADO $PM_{10}$ ..... 14

3.2.2 MATERIAL PARTICULADO $PM_{2.5}$ ..... 16

3.2.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO $NO_2$ ..... 17

3.2.4 DIÓXIDO DE AZUFRE $SO_2$ ..... 18

3.2.5 MONÓXIDO DE CARBONO (CO) ..... 20

3.2.6 OZONO ($O_3$) ..... 21

**4 INFORMACIÓN DEL MONITOREO ..... 23**

*4.1 FECHA Y HORA ..... 23*

*4.2 LOCALIZACION ..... 23*

*4.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y FUENTES DE EMISIÓN. ..... 24*

*4.4 EQUIPOS DE MEDICIÓN ..... 33*

*4.5 RESPONSABLE DEL INFORME ..... 35*

**5 RESULTADOS Y ANÁLISIS ..... 37**

*5.1 METEOROLOGÍA ..... 37*

5.1.1 VELOCIDAD DEL VIENTO ..... 38

5.1.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO ..... 40

5.1.3 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA ..... 41

5.1.4 PRECIPITACIÓN ..... 43

*5.2 CALIDAD DEL AIRE ..... 43*

5.2.1 MATERIAL PARTICULADO INHALABLE $PM_{10}$ ..... 44

5.2.2 MATERIAL PARTICULADO INHALABLE FINO $PM_{2.5}$ ..... 47

5.2.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO ($NO_2$) ..... 49

5.2.4 DIÓXIDOS DE AZUFRE $SO_2$ ..... 51

5.2.5 MONÓXIDO DE CARBONO (CO) ..... 54

5.2.6 OZONO ($O_3$) ..... 57

5.2.7 CONSOLIDADO RESULTADOS CONTAMINANTES $PM_{10}$, PM $_{2,5}$, $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$ 58

*5.3 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE ..... 59*

**6 OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES ..... 62**
**7 REFERENCIAS ..... 65**
**ANEXO 1 REGISTRO FOTOGRÁFICO ..... 66**
**ANEXO 2 FORMATOS DE CAMPO ..... 71**
**ANEXO 3 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN ..... 72**
**ANEXO 4 RESOLUCIÓN ACREDITACIÓN ..... 73**
**ANEXO 5 REPORTE DE LABORATORIO ..... 74**
**ANEXO 6 MARCO TEÓRICO ..... 75**
**ANEXO 7 MEDIA MOVIL CO-$O_3$ ..... 88**

# LISTA DE TABLAS

Tabla 3-1 Límites máximos permitidos para parámetros de calidad de aire en diferentes tiempos de medición para los parámetros evaluados..... 9
Tabla 3-2. Índice de Calidad del Aire, ICA. ..... 10
Tabla 3-3 Puntos de corte del ICA ..... 11
Tabla 3-4 Descripción SVCAI Indicativo..... 13
Tabla 3-5 Características del material particulado ($PM_{10}$) ..... 15
Tabla 3-6. Características de los óxidos de nitrógeno (NOx) ..... 18
Tabla 3-7 Características de los óxidos de azufre ($SO_2$) ..... 19
Tabla 4-1.Fecha y Hora de monitoreo..... 23
Tabla 4-2. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 1 ..... 24
Tabla 4-3. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 2 ..... 26
Tabla 4-4 Ficha técnica de Estación 1 ..... 29
Tabla 4-5 Ficha técnica de Estación 2 ..... 31
Tabla 4-6 Equipos empleados en el monitoreo de calidad de aire ..... 33
Tabla 4-7. Responsable del Informe. ..... 35
Tabla 4-8. Laboratorio toma de muestras $PM_{2.5}$ ..... 36
Tabla 5-1 Resumen variables meteorológicas promedio diario ..... 38
Tabla 5-2. Escala de Beaufort..... 39
Tabla 5-3. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{10}$ Estación 1: Papa a la lata ..... 44
Tabla 5-4. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{10}$ Estación 2: Edificio. .. 44
Tabla 5-5. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 1: Papa a la lata ..... 47
Tabla 5-6. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 2: Edificio... 47
Tabla 5-9. Resultado de concentraciones y estadísticas de $SO_2$ Estación 1: Papa a la lata ..... 51
Tabla 5-10. Resultado de concentraciones y estadísticas de $SO_2$ Estación 2: Edificio..... 52
Tabla 5-15. Comparación de resultados concentración Parámetros Evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición ..... 59
Tabla 5-16 Índices de Calidad del Aire en estación 1..... 59
Tabla 5-13 Índices de Calidad del Aire en estación 2..... 60
Tabla 7-1 Criterios médicos y UNE (EN 12341, 1999) con respecto a las partículas de diámetro <10, 2.5 y 1 µm ($PM_{10}$, $PM_{2.5}$ y $PM_1$)..... 83
Tabla 7-2. Efectos a la Salud por concentraciones de CO ..... 86

# LISTA DE FIGURAS

Figura 3-1. Contaminantes monitoreados. ..... 8
Figura 3-2. Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio ..... 16
Figura 3-3 Método de Dilución para Calibración de Analizadores de CO. ..... 21
Figura 3-4 Capa de ozono ..... 22
Figura 4-1. Ubicación estación de monitoreo. ..... 24
Figura 5-1. Estación meteorológica ubicada en la estación 2: Edificio. ..... 37
Figura 5-2. Velocidad del viento durante el tiempo de muestreo ..... 39
Figura 5-3 Rosa de viento diurna ..... 40
Figura 5-4 Rosa de viento nocturna ..... 40
Figura 5-5 Rosa de viento total ..... 40
Figura 5-6. Temperatura ambiente en °C durante el tiempo de muestreo ..... 42
Figura 5-7 Temperatura promedio diaria °C ..... 42
Figura 5-8Temperatura promedio multihorario °C ..... 42
Figura 5-9 Precipitación acumulada diaria (mm$H_2O$) ..... 43
Figura 5-10 Distribución lluvias por categoría ..... 43
Figura 5-11. Datos de calidad del aire para $PM_{10.}$ ..... 46
Figura 5-12. Diagrama de caja para $PM_{10}$ ..... 46
Figura 5-13. Datos de calidad del aire para $PM_{2.5}$ ..... 48
Figura 5-14. Diagrama de caja para $PM_{2.5}$ ..... 49
Figura 5-15 Registro hora a hora $NO_2$ 2019-08-13 -2019-08-18 ..... 50
Figura 5-20 Registro hora a hora $NO_2$ 2019-08-19 -2019-08-24 ..... 50
Figura 5-21 Registro hora a hora $NO_2$ 2019-08-25 -2019-08-30 ..... 51
Figura 5-17. Datos de calidad del aire para $SO_2$ ..... 53
Figura 5-18. Diagrama de cajas para $SO_2$ ..... 54
Figura 5-19 Registro hora a hora CO 2019-08-13 -2019-08-18 ..... 55
Figura 5-20 Registro hora a hora CO 2019-08-19 -2019-08-24 ..... 55
Figura 5-21 Registro hora a hora CO 2019-08-25 -2019-08-30 ..... 56
Figura 5-22 Registro Octohorario CO ..... 57
Figura 5-23 Registro día a día $O_3$ respecto a la norma octohoraria ..... 58
Figura 5-21. Índices de Calidad del Aire area de influencia ..... 61
Figura 7-1 Diagrama comportamiento de los contaminantes ..... 76
Figura 7-2 Distribución del número de partículas en función del diámetro ..... 79
Figura 7-3 Distribución granulométrica del material particulado atmosférico en función del número de partículas, la superficie y la masa ..... 81
Figura 7-4 Representación de las diversas regiones del aparato respiratorio humano ..... 83

# 1 INTRODUCCIÓN

El presente informe contiene el análisis del monitoreo de la calidad del aire en el proyecto "Construcción de la Subestación Terminal y Líneas asociadas a 115 kV; con el que se busca determinar las condiciones actuales de calidad del aire mediante la instalación de dos (2) puntos de monitoreo donde se instalaron equipos para medir los niveles de: material particulado inhalable expresado como $PM_{10}$, material particulado fino expresado como $PM_{2.5}$, Dióxido de Nitrógeno $NO_2$, Dióxido de Azufre $SO_2$, Monóxido de Carbono CO y Ozono $O_3$.

Las mediciones de calidad del aire fueron desarrolladas por el laboratorio SIAM Ingeniería S.A.S, entre el 13 de agosto y el 30 de agosto de 2019.

En las mediciones se utilizaron los métodos de muestreo y de cálculo recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América (U.S. EPA) y avalados en la Normativa Legal Vigente Colombiana, así como los términos de referencia dados por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT (actualmente Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible - MADS) mediante el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado por la Resolución 2154 de 2010.

El documento incluye el objeto del estudio, la metodología seguida en la ejecución de los muestreos y el reporte de cálculos junto con el respectivo análisis de resultados basados en la acreditación de SIAM INGENIERÍA S.A.S mediante la Resolución No.1742 del 30 de julio de 2018. Se presenta la comparación de los resultados de las mediciones con la norma vigente de calidad del aire para Colombia, Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017, y los manuales de Operación y Diseño contenidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, ajustado bajo la Resolución 2154 de 2010 del MAVDT (ahora MADS), al igual que sus respectivas conclusiones

# 2 OBJETIVOS, ALCANCE Y PROPÓSITO

## 2.1 PROPÓSITO

Caracterización del componente atmosférico –Calidad del Aire– para la línea base del proyecto "Construcción de la Subestación Terminal y Líneas Asociadas a 115 kV" de propiedad de Condensa S.A. ESP.

## 2.2 ALCANCE

Desarrollar un monitoreo de calidad el aire en época seca, el cual incluye dos estaciones de monitoreo y la instalación de una estación meteorológica, contaminantes $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$.

## 2.3 OBJETIVOS

- Determinar las concentraciones de $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$, en dos sitios del área de influencia.
- Identificar las fuentes de emisión que afectan los resultados de calidad del aire en el área de influencia del proyecto, donde se realizan las mediciones.
- Comparar los resultados obtenidos a partir del trabajo de campo y del análisis de los datos, con los valores permisibles establecidos en la legislación colombiana señalados en la Resolución MADS 2254 de 2017, con relación a calidad de aire ambiental.
- Presentar un documento con los resultados de la campaña de monitoreo que cumpla con lo establecido en la sección 7.6.6 del Manual de Operación del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Res-MADS-2154/2010).

# 3 MARCO CONCEPTUAL

Los contaminantes "criterio" son los contaminantes regularmente medidos en estaciones de monitoreo y controlados en las emisiones de fuentes antropogénicas, a través de normas de calidad del aire y normas de emisión. De ellos, el único contaminante que no es emitido directamente por las fuentes antropogénicas es el ozono troposférico, el cual es formado en la atmósfera a partir de reacciones químicas entre los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles, bajo la acción de la luz solar y es conocido comúnmente como smog fotoquímico. (Néstor Y. Rojas, 2012)

En la Figura 3-1, se detallan los contaminantes monitoreados para el proyecto en el cual se destacan 2 grandes grupos material particulado de los cuales hace parte el $PM_{10}$ y $PM_{2.5}$, mientras los dióxidos de nitrógeno, de azufre, monóxido de Carbono y ozono, los cuales hacen parte de los gases presentes en el estudio. (Santander, 2010)

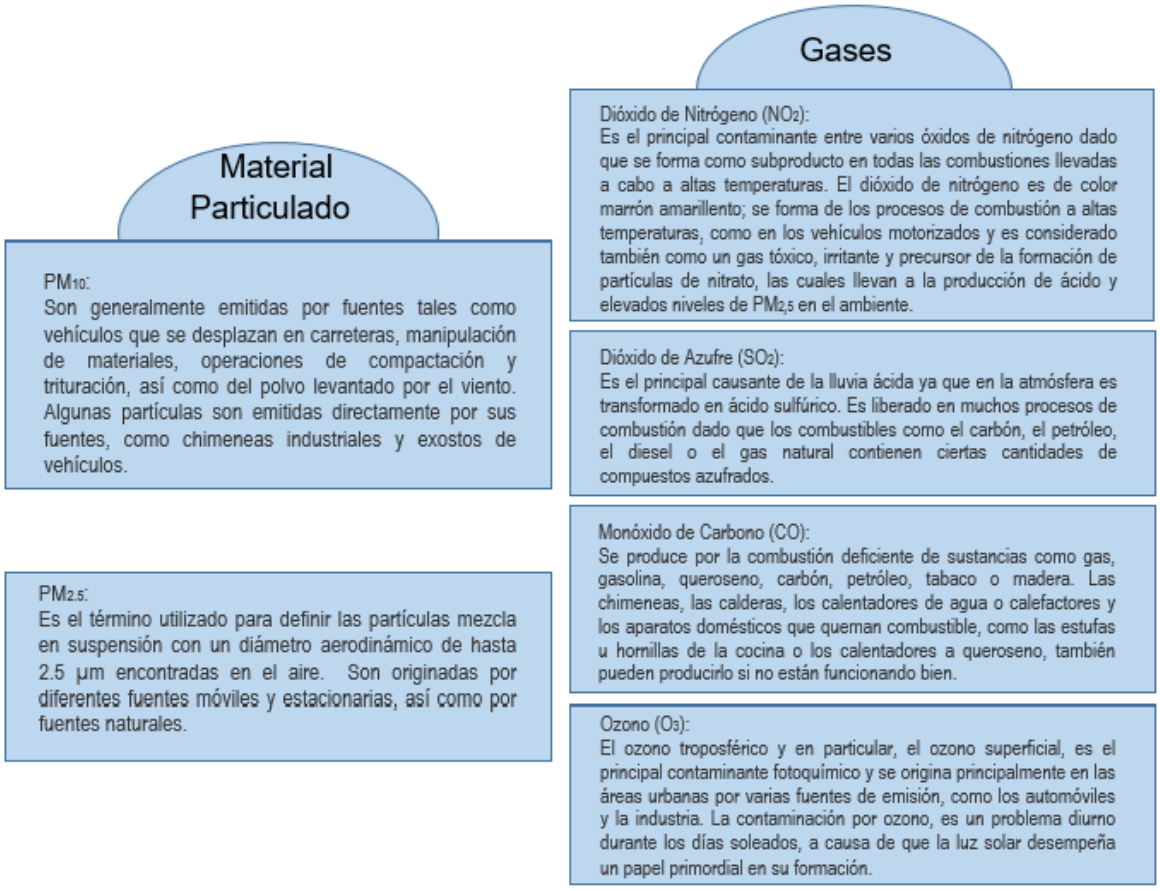



**Figura 3-1. Contaminantes monitoreados.**
Fuente: (Santander, 2010)

## 3.1 NORMATIVIDAD

En esta sección se describe la normatividad vigente para el componente atmosférico aire aplicable al monitoreo de calidad del aire en el país.

### 3.1.1 Resolución 2254 de 2017

La Resolución 2254 de 2017 establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera.

De igual forma, incorpora un ajuste progresivo de los niveles máximos permisibles de contaminantes, incluye nuevos contaminantes y define elementos técnicos integrales para mejorar la gestión de la calidad del aire.

La presente resolución entró en vigor a partir del 01 de enero del 2018, por lo cual derogo la Resolución 601 de 2006 y la Resolución 610 de 2010, el anexo 2 "Procedimiento de cálculo para la determinación de área-fuente" del Manual de Diseño de Sistema de Vigilancia de la Calidad del Aire y los numerales 7.6.7 "Índice de Calidad del Aire". 7.3.1.1 "Manejo y Presentación de las variables de Calidad del Aire" y 7.3.2.8 "Comparación de los valores de concentración con la norma "del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire.

#### 3.1.1.1 Niveles máximos permisibles

En el Artículo 2 de la Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, que derogó la Resolución 610 de 2010, se establecen los niveles máximos permisibles para contaminantes criterio en condiciones de referencia (25 ºC y 760 mm Hg), contenidos Resolución 2254/2017, se muestran en la Tabla 3-1:

**Tabla 3-1 Límites máximos permitidos para parámetros de calidad de aire en diferentes tiempos de medición para los parámetros evaluados.**

| Contaminante | Concentración (µg/m³) | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Diaria | Anual | Horaria | Octohoraria |
| $PM_{10}$ | 75 | 50 | --- | --- |
| $PM_{2.5}$ | 37 | 25 | --- | --- |
| $SO_2$ | 50 | --- | 100 | --- |
| $NO_2$ | --- | 60 | 200 | --- |
| CO | --- | --- | 35000 | 5000 |
| $O_3$ | --- | --- | ---- | 100 |

**Fuente: Res 2254/2017**

En el parágrafo 2 se establece que para verificar el cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la Tabla 3-1, la concentración de los contaminantes del aire deberá evaluarse por cada punto de monitoreo; el promedio de concentraciones de diferentes puntos de monitoreo no será válido para evaluar el cumplimiento de dichos niveles.

### 3.1.1.2 Índice de calidad del aire

El Índice de Calidad del Aire (ICA) permite comparar los niveles de contaminación de calidad del aire, de la estación de monitoreo. El ICA, se define como un valor representativo de los niveles de contaminación atmosférica y sus efectos en la salud, dentro de una región determinada. Para efectos del presente estudio, se tienen en cuenta los lineamientos del Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire.

En Colombia, a partir de la Resolución 650 del 29 de marzo de 2010 emanada por el Ministerio del Medio Ambiente se adoptó el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire, que establece las directrices, metodologías y procedimientos necesarios para llevar a cabo las actividades de monitoreo y seguimiento de la calidad del aire en el territorio nacional. Este protocolo está compuesto por los siguientes dos manuales, que forman parte integral de dicha resolución:

- Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire
- Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire

La Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 emitida por el Ministerio del Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible establece modificaciones en el estado de la calidad de aire y puntos de corte que entran en vigor a partir del 01 de enero de 2018, fecha posterior a la ejecución de este monitoreo.

El índice de Calidad del Aire permite establecer cómo se encuentra la calidad del aire con respecto a los efectos a la salud. El indicador es adimensional y posee una escala de 0 a 500 que depende del grado de contaminación presente en la atmósfera, tal como se describe en la Tabla 3-2:

**Tabla 3-2. Índice de Calidad del Aire, ICA.**

| ICA | DESCRIPCIÓN | COLOR |
|---|---|---|
| 0 – 50 | Bueno | |
| 51 – 100 | Aceptable | |
| 101 – 150 | Dañina para la salud de grupos sensibles | |
| 151 – 200 | Dañina para la salud | |
| 201 – 300 | Muy Dañina para la salud | |
| 301 – 500 | Peligroso | |

***Fuente**: Resolución 2254 de 2017.*

El ICA es una herramienta importante en la determinación de indicadores que correlacionan las actividades propias del área y el impacto que éstas generan sobre las condiciones de calidad de la atmósfera, que orienten decisiones sobre la base del conocimiento, para de esta forma, materializar condiciones sostenibles de ocupación y crecimiento económico y urbano de la región.

**Cálculo de los índices de Calidad del Aire.**

El ICA será calculado a partir de la siguiente ecuación y será reportado el mayor valor que se obtenga del cálculo de cada uno de los contaminantes medidos:

En la cual:

$$ICA_p = \frac{I_{Alto} - I_{bajo}}{PC_{Alto} - PC_{bajo}} * (C_p - PC_{bajo}) + I_{bajo}$$

ICAp = Índice de calidad para el contaminante p.
Cp = Concentración medida para el contaminante p.
$PC_{alto}$ = Punto de corte mayor o igual a Cp
$PC_{bajo}$ = Punto de corte menor o igual a Cp
$I_{alto}$ = Valor del ICA correspondiente a $PC_{alto}$
$I_{bajo}$ = Valor del ICA correspondiente a $PC_{bajo}$

Para cada uno de los componentes evaluados en el presente estudio se aplicó la fórmula anterior tomando los valores para los puntos de corte cada contaminante del artículo 20 de la Resolución 2254 de 2017, apoyados en un Macro en Excel (Ver Tabla 3-3).

**Tabla 3-3 Puntos de corte del ICA**

| Índice de Calidad del Aire | | | Puntos de corte del ICA | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ICA | COLOR | CATEGORÍA | $PM_{10}$ | $PM_{2,5}$ | CO | $SO_2$ | $NO_2$ | $O_3$ | $O_3$ |
| | | | µg/m³ | µg/m³ | µg/m³ | µg/m³ | µg/m³ | µg/m³ | µg/m³ |
| | | | 24 horas | 24 horas | 8 horas | 1 hora | 1 hora | 8 horas | 1 hora |
| 0-50 | Verde | Buena | 0-54 | 0-12 | 0-5094 | 0-93 | 0-100 | 0-106 | …….. |
| 51-100 | Amarillo | Aceptable | 55-154 | 13-37 | 5095-10819 | 94-197 | 101-189 | 107-138 | …… |
| 101-150 | Naranja | Dañina a la Salud de Grupos Sensibles | 155-254 | 38-55 | 10820-14254 | 198-486 | 190-677 | 139-167 | 245-323 |
| 151-200 | Rojo | Dañina a la Salud | 255-354 | 56-150 | 14255-17688 | 487-797 | 678-1221 | 168-207 | 324-401 |
| 201-300 | Púrpura | Muy dañina a la salud | 355-424 | 151-250 | 17689-34862 | 798-1583 | 1222-2349 | 208-393 | 402-794 |
| 301-500 | Marrón | Peligrosa | 425-604 | 251-500 | 34863-57703 | 1584-2629 | 2350-3853 | 394(2) | 795-1185 |

***Fuente**: Resolución 2254 de 2017.*

De acuerdo con las concentraciones obtenidas en la presente campaña de monitoreo por cada parámetro y por cada estación, se calculan los índices de calidad del aire, que permiten establecer cómo se encuentra la calidad del aire en el área de influencia del proyecto, con respecto a la normatividad actual vigente llevadas a las condiciones atmosféricas de referencia.

### 3.1.2 Resolución 2154 de 2010

La Resolución 2154 de 2010 "**Por la cual se ajusta el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire adoptado a través de la Resolución 650 de 2010 y se adoptan otras disposiciones**", dentro del citado protocolo se establecen dos documentos, el Manual de Diseño y el Manual de Operación; el primer documento "incorpora los lineamientos a tener en cuenta para llevar a cabo el diseño y la operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el país. Contiene las generalidades sobre los sistemas de vigilancia de calidad del aire, la explicación de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire en el marco de los planes de gestión de calidad del aire, las etapas generales para el diseño de un sistema de vigilancia de la calidad del aire y los pasos relacionados con la revisión inicial y la fase final de elaboración del diseño del sistema, dependiendo del sistema de vigilancia que se requiera instalar. De igual manera, presenta los parámetros de diseño de un sistema de vigilancia de la calidad del aire y criterios para realizar modificaciones a los sistemas de vigilancia, así como los recursos necesarios para el montaje, operación y seguimiento de estos sistemas de vigilancia. Finalmente, cuenta información relacionada con clasificación de áreas-fuente de contaminación y validez de la información recolectada en campañas de monitoreo".

#### 3.1.2.1 Manual de Diseño

El Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire incorpora los lineamientos a tener en cuenta para llevar a cabo el diseño de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el país. Contiene las generalidades sobre los sistemas de vigilancia de calidad del aire, la explicación de los sistemas de vigilancia de la calidad del aire en el marco de los planes de gestión de calidad del aire, las etapas generales para el diseño de un sistema de vigilancia de la calidad del aire y los pasos relacionados con la revisión inicial y la fase final de elaboración del diseño del sistema, dependiendo del sistema de vigilancia que se requiera instalar.

De igual manera, presenta los parámetros de diseño de un sistema de vigilancia de la calidad del aire y criterios para realizar modificaciones a los sistemas de vigilancia, así como los recursos necesarios para el montaje, operación y seguimiento de estos sistemas de vigilancia.

Finalmente, cuenta información relacionada con clasificación de áreas-fuente de contaminación y validez de la información recolectada en campañas de monitoreo.

#### 3.1.2.1.1. Sistema de Vigilancia de Calidad de Aire Industrial – SVCAI

Este tipo de sistema de vigilancia podrá responder a los siguientes objetivos:

1. Determinar el cumplimiento de las normas de calidad del aire
2. Observar las tendencias a mediano y largo plazo
3. Evaluar el riesgo para la salud humana
4. Determinar posibles riesgos para el medio ambiente
5. Activar los procedimientos de control en situaciones de emergencia
6. Validar los modelos de calidad del aire

Un SVCAI debe partir de un análisis preliminar de la situación que debe estar sustentando en los requerimientos realizados por la autoridad ambiental en caso de que sea una industria en operación.

Los monitoreos realizados en un SVCAI pueden ser fijos o indicativos dependiendo de las exigencias específicas de cada industria en particular.

En la Tabla 3-4 se presenta la descripción del SVCAI Indicativo:

**Tabla 3-4 Descripción SVCAI Indicativo**

| CARACTERÍSTICA | PARÁMETRO | OBSERVACIONES |
|---|---|---|
| **Tecnología de medición** | Activo<br>Automático | |
| **Tiempo de monitoreo** | Mínimo 18 muestras | Si al analizar los resultados de las primeras 15 muestras se obtiene un promedio igual o mayor al 80% del valor de la norma anual de calidad del aire o nivel de inmisión, se deberá prolongar el monitoreo hasta completar 24 muestras. |
| **Periodicidad del monitoreo** | Mínimo anualmente | |
| **Parámetros a medir** | Se definirán lo contaminante de acuerdo con el proceso industrial. Mínimo $PM_{10}$ | Serán definido otros contaminantes que no sean de referencia de acuerdo con el inventario de emisiones, la campaña de monitoreo o los resultados del modelo de dispersión. |
| **Número de estaciones** | Debe contemplar como mínimo una estación de fondo y una estación vientos debajo de la fuente o fuentes. | |
| **Tipo de estaciones** | Fondo<br>Fondo Urbana<br>Indicativas<br>EPE | |

| CARACTERÍSTICA | PARÁMETRO | OBSERVACIONES |
|---|---|---|
| **Ubicación estaciones** | De acuerdo con el diseño especifico descrito en el diseño detallado | |
| **Periodicidad del muestreo** | Diario o día de por medio | El muestreo será diario si se hace en época seca, de lo contrario deberá realizarse día de por medio. |
| **Instrumentos meteorológicos** | Pluviómetro automático<br>Estaciones meteorológicas automáticas portátiles. | |

**Fuente:** Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire.

#### 3.1.2.2 Manual de Operación

El Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire incorpora los lineamientos a tener en cuenta para llevar a cabo la operación de los Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire en el país. Contiene los tipos de sistemas de vigilancia de la calidad del aire según su tecnología y presenta en detalle los sistemas manuales, automáticos e híbridos de vigilancia de la calidad del aire. Así mismo, se presentan elementos comunes a todos los sistemas de vigilancia de la calidad del aire como el programa de control y aseguramiento de la calidad del aire, el análisis de la información generada y la generación de reportes.

## 3.2 METODOLOGÍA Y CONTAMINANTES

El monitoreo de calidad de aire fue llevado a cabo entre el 13 de agosto y 30 de agosto de 2019, con el montaje de dos estaciones de contaminantes criterio $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$. En el Anexo 6 se presenta la descripción de cada uno de los contaminantes criterios evaluados y sus efectos sobre el entorno y la salud humana. En esta sección se muestran cada uno de los parámetros monitoreados con sus características y los métodos de referencia para su muestreo y su análisis. Las muestras fueron identificadas mediante etiquetas, con su respectivo código, punto de muestreo, fecha y tipo de muestra. Para las muestras de calidad del aire se contó con los filtros en fibra de cuarzo y vidrio previamente pesados e identificados.

### 3.2.1 MATERIAL PARTICULADO $PM_{10}$

El material particulado respirable consiste en toda la materia emitida como sólidos, líquidos y vapores pero que están suspendidas en el aire. Las partículas se pueden emitir directamente a la atmósfera (partículas primarias) o formadas en ésta última por reacciones químicas (partículas secundarias). El tamaño de partícula, expresado generalmente en términos de su diámetro aerodinámico, y la composición química son influenciados por su origen.

### 3.2.1.1 Descripción

Las partículas respirables $PM_{10}$, incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a 10 µm. Los efectos sobre la salud humana dependen en gran parte del tamaño de la partícula debido principalmente al nivel de penetración en diferentes partes del sistema respiratorio. En la Tabla 3-5, se presenta una breve referencia sobre este tipo de compuestos:

**Tabla 3-5 Características del material particulado ($PM_{10}$)**

| Propiedad | Característica |
|---|---|
| **Definición** | Cualquier material sólido o líquido dividido finamente diferente al agua no combinada según medición por los métodos federales de referencia (40 CFR 53). |
| **Ejemplos** | Polvo, humo, gotitas de petróleo, berilio, asbesto entre otros. |
| **Fuentes** | Hornos, trituradoras, molinos, afiladores, estufas, calcinadores, calderas, incineradores, bandas transportadoras, acabados textiles, mezcladoras y tolvas, cubilotes, equipo procesador, cabinas de aspersión, digestores, incendios forestales entre otros. |
| **Efectos** | Visibilidad disminuida, efecto del humo y el polvo sobre la salud humana, enfermedades crónicas del sistema respiratorio, asbestosis, envenenamiento con plomo, suciedad de la casa y la ropa, destrucción de la vida vegetal y la agricultura y efectos sobre el clima. |
| **Otros** | Las partículas pequeñas son particularmente peligrosas para la salud humana porque su pequeño tamaño hace posible que pasen a través de los vellos de las fosas nasales y lleguen al interior de los pulmones. |

**Fuente**: Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire. Anexo 1. Año 2010

### 3.2.1.2 Método de muestreo y análisis

Los equipos incluidos en el presente estudio para cuantificar material particulado fueron $PM_{10}$ (*Manual Reference Method:* 40 CFR Part 50, Appendix J).

La concentración de material particulado suspendido en la atmósfera se determina mediante el método US EPA 40 CFR Parte 50 Apéndice J para el parámetro $PM_{10}$. En este método la toma de muestra se realiza mediante un muestreador Hi-Vol., el cual arrastra una cantidad medible de aire ambiente que pasa a través de un filtro, durante un período de muestreo (nominal) de 24 horas. El filtro se pesa (después de equilibrar la humedad) antes y después de usarlo, para determinar el peso (masa) neto ganado. El volumen de aire se determina con base en el flujo estándar promedio y el tiempo de muestreo.

### 3.2.2 MATERIAL PARTICULADO $PM_{2.5}$

El material particulado se presenta de diversas formas, tamaño y propiedades, pueden ser desde pequeñas gotas de líquido a partículas microscópicas de polvo. Las partículas también dependen del tipo de fuentes, entre los cuales se encuentran las fuentes industriales (construcción, combustión y minería) y las fuentes naturales (incendios forestales y volcanes).

#### 3.2.2.1 Descripción

La magnitud de las partículas atmosféricas cubre órdenes desde decenas de angstroms (Å) hasta varios cientos de micrómetros. Las partículas de menos de 2,5 µm en diámetro ($PM_{2.5}$), generalmente se refieren como "finas" y las mayores de 2,5 µm como gruesas. Los modos de partículas gruesas y finas, en general, se originan separadamente, se transforman separadamente, son removidas de la atmosfera por diferentes mecanismos, requieren diferentes técnicas para su remoción de las fuentes, tienen diferente composición química, diferentes propiedades ópticas y difieren en sus patrones de deposición en el tracto respiratorio (Seinfield, 2006), tal como se observa en la Figura 3-2:

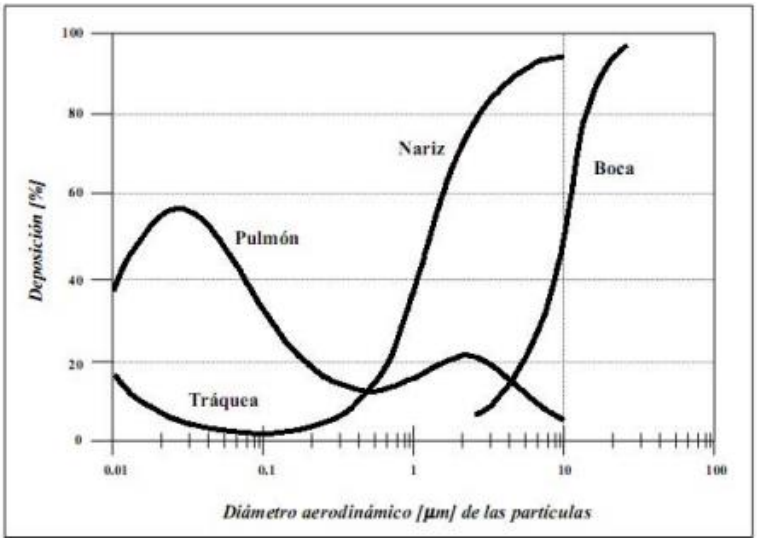



**Figura 3-2. Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio**
Fuente: (Swisscontact, Curso de Calidad del aire ).

Tomando en cuenta el tamaño de las partículas, se establecen diferentes tipos de muestreadores de esta forma se asegura un mejor funcionamiento.

#### 3.2.2.2 Método de muestreo

El método de referencia que aplica es el *US-EPA Titulo 40 Parte 50 Apéndice: L, $PM_{2.5}$* donde un muestreador de aire impulsado eléctricamente aspira aire ambiente a un caudal volumétrico constante en una entrada de forma especial y a través de un separador de tamaño de partícula inercial (impactador) donde el material particulado suspendido en el rango de tamaño $PM_{2.5}$ se separa para su recolección en un filtro de teflón durante el período de muestreo especificado.

#### 3.2.2.3 Método de análisis

El filtro es acondicionado de acuerdo con los requerimientos del método *US-EPA Titulo 40 Parte 50 Apéndice: L, $PM_{2.5}$* y posteriormente es pesado en una micro balanza antes y después de usarlo, para determinar el peso (masa) neto ganado. El volumen de aire se determina con base en el flujo estándar promedio y el tiempo de muestreo.

Dentro del proceso, se realiza control de calidad que se base en duplicados de muestra, blanco de laboratorio, blanco de campo y pruebas rutinarias de la micro balanza con el fin de garantizar la idoneidad de los resultados.

### 3.2.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO $NO_2$

Los óxidos de nitrógeno son degradados rápidamente en la atmósfera al reaccionar con otras sustancias comúnmente presentes en el aire. La reacción del dióxido de nitrógeno con sustancias químicas producidas por la luz solar lleva a la formación de ácido nítrico, principal constituyente de la lluvia ácida. El dióxido de nitrógeno reacciona con la luz solar, lo cual lleva a la formación de ozono y smog.

La mayor parte de los óxidos de nitrógeno se forman por la oxidación del nitrógeno atmosférico durante los procesos de combustión a temperaturas elevadas. El oxígeno y el nitrógeno del aire reaccionan para formar NO, oxidándose este posteriormente a $NO_2$.

#### 3.2.3.1 Descripción

Estos compuestos se asocian (reaccionan) muy fácilmente con la humedad de las mucosas constituyendo un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suelen asociarse también con las partículas suspendidas dando lugar a un riesgo superior, ya que su acción es sinérgica.

En la Tabla 3-6, se presenta una breve referencia sobre este tipo de compuestos:

**Tabla 3-6. Características de los óxidos de nitrógeno (NOx)**

| Propiedad | Característica |
|---|---|
| **Definición** | Se identifican siete Oxidos de Nitrógeno: NO $NO_2$, $N_2O$, $N_2O_3$, $N_2O_4$, $N_2O_5$. A Nivel de contaminación del aire se refiere a NO y $NO_2$ (Gases incoloros). |
| **Fuentes** | Producidos al quemar combustible a temperaturas muy altas a partir del nitrógeno del aire. También son producidos a partir de nitrógeno del carbón y los aceites pesados: grandes generadores de energía eléctrica, grandes calderas industriales, motores de combustión interna, plantas de ácido nítrico. |
| **Efectos:** | Visibilidad reducida, irritación de la nariz y los ojos, edema pulmonar, bronquitis y neumonía; reaccionan con los COV bajo la influencia de la luz para formar ozono. Los óxidos de nitrógeno son importantes contribuyentes potenciales de fenómenos nocivos como la lluvia ácida y la eutrofización en las zonas costeras. |
| **Otros** | Concentraciones excesivas en el aire de NO y $NO_2$ ocasionan un color parduzco debido a la absorción de la luz en el área azul-verde del espectro. |

**Fuente**: Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire. Anexo 1. Año 2010

### 3.2.3.2 Método de medición y análisis

La medición automática de $NO_2$ es realizada siguiendo los lineamientos del método EPA Titulo 40 Parte 50 Apéndice F, cuyo método equivalente para el equipo utilizado por SIAM Ingeniería SAS es el RFNA-1289-074 Analizador Thermo 42, 42C y 42i. La muestra de aire ingresa por el puerto de entrada, y luego es separada en dos canales, un canal conduce hacia el convertidor en donde todo el $NO_2$ es convertido a NO y por tanto representa la medición de NO+NO2=NOX, mientras que, por el otro canal, el $NO_2$ pasa sin cambios y por tanto este canal representa la medida de NO. La lectura es obtenida automáticamente del equipo, ya que este internamente sustrae la medición de NO de la medición de NOx, mostrando en la pantalla las lecturas de NO, $NO_2$ y $NO_X$ en la atmósfera.

El equipo es verificado de acuerdo a los criterios de la EPA en 6 puntos (0, 100, 200, 300, 400 y 500 ppb) y en cada uno de los canales (NO y $NO_2$), los cuales son generados a partir de un cilindro con concentración de NO trazable NIST y un calibrador de dilución dinámico con opción de GPT para la generación de $NO_2$.

### 3.2.4 DIÓXIDO DE AZUFRE $SO_2$

El dióxido de azufre es uno de los principales causantes de la lluvia ácida ya que en la atmósfera es transformado en ácido sulfúrico. Es liberado en muchos procesos de combustión ya que los combustibles como el carbón, el petróleo, el diesel o el gas natural contienen ciertas cantidades de compuestos azufrados. Por estas razones se intenta

eliminar estos compuestos antes de su combustión por ejemplo mediante la hidrodesulfuración en los derivados del petróleo o con lavados del gas natural, para obtener combustibles más limpios.

#### 3.2.4.1 Descripción

Estos compuestos se asocian (reaccionan) muy fácilmente con la humedad de las mucosas constituyendo un riesgo en la producción de irritación e inflamación aguda o crónica; suelen asociarse también con las partículas suspendidas dando lugar a un riesgo superior, ya que su acción es sinérgica.

En la Tabla 3-7, se presenta una breve referencia sobre este tipo de compuestos:

**Tabla 3-7 Características de los óxidos de azufre ($SO_2$)**

| Propiedad | Característica |
|---|---|
| **Definición** | Compuestos corrosivos, gases tóxicos cuando se quema combustible que contiene azufre. |
| **Fuentes** | Artículos eléctricos, calderas industriales, fundiciones de cobre, refinerías de petróleo, fuentes de automóviles, calentadores residenciales y comerciales. |
| **Efectos** | Dificultad para respirar cuando se disuelven en la nariz y en las vías superiores; tos crónica y secreción en las mucosas. Contribuye a la lluvia ácida y a fenómenos de visibilidad disminuida (de acuerdo con su concentración). |
| **Otros** | El $SO_2$ pertenece a la familia de los gases de óxidos de azufre (SO2), que se producen principalmente de la combustión de compuestos que contienen azufre y durante ciertos procesos industriales y en la producción de acero. Es percibido por el olfato en concentraciones hasta de 3 ppm (0.003%) a 5 ppm (0.005%). Cuando se encuentra en niveles de 1 a 10 ppm induce al aumento de la frecuencia respiratoria y el pulso. |

**Fuente**: Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de Calidad de Aire. Anexo 1. Año 2010

#### 3.2.4.2 Método de muestreo y análisis

La muestra de aire para análisis de $SO_2$ se toma simultáneamente con la de partículas mediante el tren de muestreo que va conectado a la bomba de vacío y consta de un tubo distribuidos conectado en paralelo a tres colectores de vidrio de borosilicato (burbujeadores) que contienen la solución absorbente para los gases, y el otro vacío que hace las veces de la trampa (burbujeador trampa). El flujo de aire pasa a través del sistema y es controlado por orificios críticos, el cual es calibrado antes y después de la colección de la muestra.

La determinación de la concentración de los gases en el aire se realiza mediante métodos analíticos establecidos en normas internacionales (ISO), acogidas y establecidas por

entidades nacionales como el ICONTEC, el IDEAM y señalados en la Legislación Nacional como los apropiados para tal fin. Para la determinación del $SO_2$ se tuvo como referencia el Método de Tetracloruromercurato (TCM)/Pararrosanilina EPA CFR 40 Parte 50 - Apéndice A-2.

### 3.2.5 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

El monóxido de carbono (CO) es un gas inodoro e incoloro que se produce por la combustión incompleta de compuestos de carbono. Este es emitido por vehículos automotores, la industria y también, aunque en menor escala por algunos procesos naturales como incendios forestales o por los océanos.

#### 3.2.5.1 Descripción

El efecto dañino potencial principal de este contaminante, lo constituye su afinidad para combinarse con la hemoglobina, dando lugar a una elevada formación de carboxihemoglobina, que conlleva a la disminución de la cantidad de oxihemoglobina y por ende la entrega de oxígeno a los tejidos.

El riesgo de la exposición al CO varía desde el efecto de pequeñas cantidades atmosféricas en individuos que padecen deficiencias circulatorias, hasta una intoxicación aguda por inhalación de grandes cantidades del contaminante en espacios cerrados y/o en un lapso corto.

La exposición incluso a bajos niveles de monóxido de carbono puede tener efectos nocivos cuando la gente toma medicamentos, ingiere bebidas alcohólicas o vive en altitudes elevadas.

#### 3.2.5.2 Método de muestreo y análisis

Para la determinación de CO se tuvo como referencia el Método US-EPA Título 40 Parte 50 Apéndice: C, infrarrojo no dispersivo.

En este las mediciones se basan en la absorción de radiación infrarroja por el monóxido de carbono (CO) en un fotómetro no dispersivo. La energía infrarroja de una fuente se pasa a través de una celda que contiene la muestra de gas a analizar, y la absorción cuantitativa de la energía por CO en la celda de muestra se mide mediante un detector adecuado. El fotómetro se sensibiliza a CO mediante el empleo de gas CO ya sea en el detector o en una celda de filtro en la trayectoria óptica, limitando de este modo la absorción medido a una o más de las longitudes de onda características a la que CO absorbe fuertemente. Filtros ópticos u otros medios también pueden ser utilizados para limitar la sensibilidad del fotómetro a una banda estrecha de interés. Varios esquemas se pueden usar para

proporcionar una referencia adecuada cero para el fotómetro. La absorción medida se convierte en una señal eléctrica de salida, que está relacionada con la concentración de CO en la celda de medición. (Register, 2011).

El laboratorio SIAM Ingeniería, emplea un sistema de dilución de CO para generar las diferentes concentraciones utilizadas para verificar la linealidad del instrumento. La Figura 3-3, describe un cilindro con una concentración certificada de 5000 ppm de CO es conectado a un sistema de dilución dinámica, (Teledyne API 700 Calibrador de dilución dinámica) el cual posee dos controladores de flujo que permiten diluir la mezcla en la concentración deseada combinando aire Zero y mezcla patrón en proporciones adecuadas, en una cámara de mezclado. La salida del calibrador de dilución se conecta a la entrada de analizador de CO, así se generan y se leen cada una de las concentraciones de la curva de calibración para verificar la linealidad del instrumento.

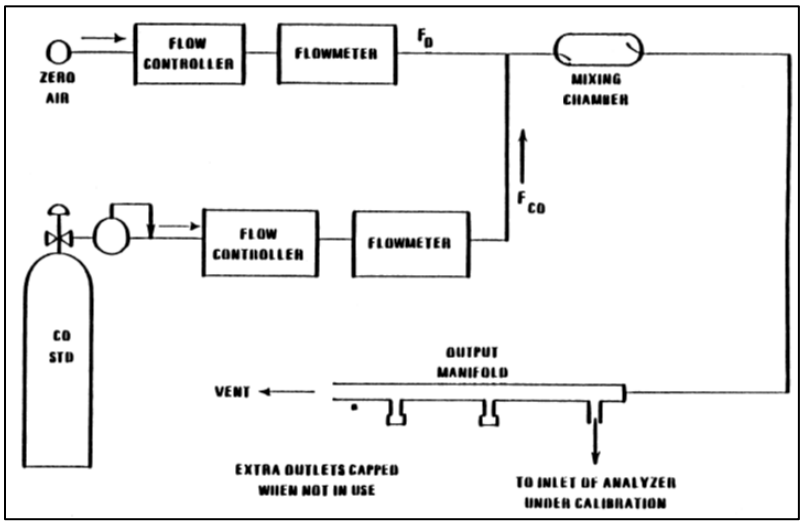



**Figura 3-3 Método de Dilución para Calibración de Analizadores de CO.**
Fuente: Método US-EPA T 40 Pt 50 Apéndice: C.

### 3.2.6 OZONO ($O_3$)

El ozono ($O_3$) es un gas altamente reactivo de color azul que se forma naturalmente a grandes alturas en el interior de la estratósfera por reacciones fotoquímicas que involucran al oxígeno diatómico y oxígeno monoatómico en la presencia de radiación ultravioleta. Su concentración a esas alturas depende de la latitud y longitud.

#### 3.2.6.1 Descripción

La capa de ozono se encuentra ubicada en la estratósfera (15 a 50 km de altura sobre la superficie de la tierra), región en la que se encuentra la mayor concentración de moléculas de ozono ($O_3$) y que tiene como función servir de escudo protector para absorber los rayos

ultravioleta provenientes del sol, especialmente los rayos UV-B, que tienen efectos perjudiciales sobre la salud y la vida de los seres humanos y el medio ambiente. (Ver Figura 3-4)

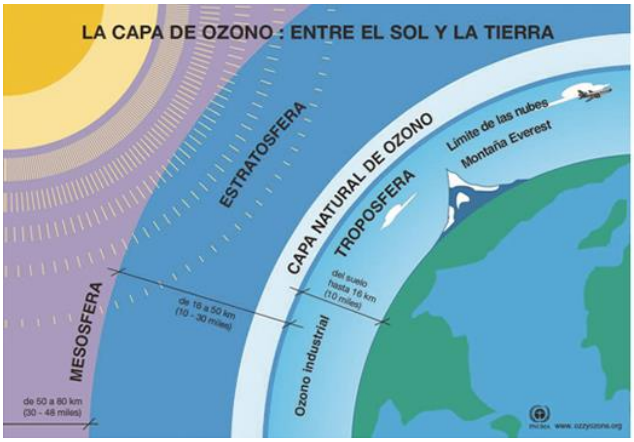



**Figura 3-4 Capa de ozono**
Fuente: http://www.siac.gov.co/ozono

### 3.2.6.2 Método de muestreo y análisis

La medición automática se basa en el principio de que las moléculas de ozono absorben luz a una longitud de onda de 254 nm. El grado en el cual la luz es absorbida está directamente relacionado con la concentración de ozono según la ley de Beer. Cuando la muestra de aire ambiente ingresa en el equipo, esta es dividida en dos flujos, uno de gas de referencia o blanco (contiene scrubber de ozono), y otro de muestra que van a dos celdas, ambas pasan el fotómetro y el detector y al final la concentración de ozono es obtenida automáticamente.

Para la determinación de $O_3$ se tuvo como referencia el Método EPA Título 40 Parte 50 Apéndice: D equivalente EQOA-0880-047.

# 4 INFORMACIÓN DEL MONITOREO

## 4.1 FECHA Y HORA

Las mediciones de calidad del aire se realizaron en el sitio, fechas y coordenadas presentes en la Tabla 4-1:

**Tabla 4-1.Fecha y Hora de monitoreo.**

| Estación | Fecha | Fecha | Coordenadas Planas Magna Sirgas Origen Bogotá | |
|---|---|---|---|---|
| | Inicial | Final | Norte | Este |
| Estación 1:Papa a la lata | 2019-08-13 | 2019-08-30 | 1'006.290 | 993.796 |
| Estación 2: Edificio | 2019-08-13 | 2019-08-30 | 1'006.170 | 993.910 |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En el Anexo 2, se encuentran los formatos de campo donde se especifica la fecha de inicio y fecha final como la hora inicial y final para las mediciones de material particulado $PM_{10}$ y $PM_{2.5}$, gases $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$.

## 4.2 LOCALIZACION

Para la ubicación de las estaciones de monitoreo en la posible área de influencia, se tuvo como primera medida las indicaciones entregadas por Compañía Nacional de Estudios Ambientales S.A.S., donde se tuvo en cuenta la representatividad espacial y las zonas donde se ubicarán fuentes que podrían tener una potencial afectación a la calidad del aire.

A nivel de micro localización se siguieron los criterios de ubicación establecidos por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire en su Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire, numeral 6.4.

En la Figura 4-1, se observa la ubicación de las estaciones de monitoreo en el área de influencia del proyecto..

**Figura 4-1. Ubicación estación de monitoreo.**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

## 4.3 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO Y FUENTES DE EMISIÓN.

Las estaciones de medición de calidad del aire se situaron de tal manera que registraran el grado de contaminación actual y permitieran identificar las fuentes predominantes del sector. De la Tabla 4-2 a la Tabla 4-3, se describen las fuentes identificadas en cada una de las estaciones, las coordenadas están en el sistema Magna Sirga Origen Bogotá.

**Tabla 4-2. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 1**

| Estación | Fuentes de emisión identificadas |
|---|---|
| Estación 1: Papa a la Lata | En el sector de monitoreo se observaron algunos puntos de emisión como:<br>• Vía secundaria sin pavimentar<br>• Chimenea Industrial<br>• Estación de servicio<br>• Vía primaria de doble sentido |
| ***UBICACIÓN GEOGRÁFICA*** | |

***REGISTRO FOTOGRÁFICO***

Vía secundaria sin pavimentar

***N:*** *1'006.298* ***E:*** *993.803*

Chimenea industrial

***N:*** *1'006.295* ***E:*** *993.773*

Estación de Servicio

***N:*** *1'006.304* ***E:*** *994.035*

Vía primaria de doble sentido

***N:*** *1'006.340* ***E:*** *994.094*

**Tabla 4-3. Descripción del entorno y las fuentes de emisión Estación 2**

| Estación | Fuentes de emisión identificadas |
|---|---|
| Estación 2: Edificio | En el sector de monitoreo se observaron algunos puntos de emisión como:<br>• Vía secundaria sin pavimentar<br>• Chimeneas industriales<br>• Estación de servicio<br>• Vía primaria de doble sentido ( Vía nacional)<br>• Construcción de edificaciones |
| ***UBICACIÓN GEOGRÁFICA*** | |

***REGISTRO FOTOGRÁFICO***

Vía secundaria pavimentada

***N:*** *1'006.177* ***E:*** *993.918*

Chimeneas Industriales

***N:*** *1'006.174* ***E:*** *993.897*

| | |
|---|---|
| | |
| Construcción de edificaciones<br>***N:*** *1'006.162* ***E:*** *994.081* | Construcción de edificaciones<br>***N:*** *1'006.063* ***E:*** *993.930* |
| | |
| Estación de servicio<br>***N:*** *1'006.304* ***E:*** *994.035* | |
| | |
| Vía primaria de doble sentido (Vía nacional)<br>***N:*** *1'006.340* ***E:*** *994.094* | |

De la Tabla 4-4 a la Tabla 4-5, se presenta la ficha técnica de cada una de las estaciones con base en los criterios consignados en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del aire.

**Tabla 4-4 Ficha técnica de Estación 1**

| Elementos | Criterio | Observaciones |
|---|---|---|
| ESTACIÓN | Seguridad y entorno | Bueno |
| | Limpieza | Bueno |
| | Conexiones eléctricas | Bueno |
| | Estabilidad de la estructura | Buena |
| | ¿Existen salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones cerca? | No |
| | ¿Existen zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles? | Si |
| | ¿La estación tiene generadores eléctricos a combustible? | No |
| | ¿Existen acumulaciones de residuos sólidos o líquidos en las cercanías? | No |
| | ¿Existen fuentes menores cercanas de contaminación como hornos, o quemadores de basuras? | No |
| | ¿Existen carreteras destapadas, campos deportivos o lotes sin vegetación? | Si |
| MUESTREADOR | ¿Cuenta con supresor de picos? | No |
| | Voltaje de entrada al equipo | 110 v |
| | ¿Es estable? | Si |
| | Describa la conexión eléctrica realizada | Conexión eléctrica 110 v |

| Criterio | Dimensión | Observaciones | ¿Cumple? |
|---|---|---|---|
| Altura de la toma muestra (m)* | 4,5 | Se encuentra instalado en andamio sobre terraza | **Cumple** |
| Distancia a obstáculos elevados (m) | 25 | Vivienda de 2 pisos | **Cumple** |
| Diferencia de altura entre el muestreador y el obstáculo elevado (m) | 5 | Tejado de vivienda | **Cumple** |
| Distancia vertical desde las estructuras de soporte hasta él toma muestra (m) | 2 | Piso de terraza a inlet | **Cumple** |
| Distancia a otra toma muestras de PM (m) | 2,5 | $PM_{10} – PM_{2.5}$ | **Cumple** |
| Distancia a árboles (m) | 80 | Árboles poco frondosos | **Cumple** |
| Distancia de separación a vías (m) | 10 | Vía secundaria sin pavimentar | **Cumple** |

**Norte**:
*Vía sin pavimentar a una distancia de 10 m.
*Zona de parqueo de vehículos de carga de materias primas de las industrias alrededor a una distancia de 10 m.
*Zona de chimeneas industriales papas fritas, frigorífico a una distancia de 10 m.

**Este**:
*Parqueaderos a una distancia de 14 m.
*Estación de servicio a una distancia de 210 m.
*Vía pavimentada de alto flujo vehicular a una distancia de 282 m.

**Oeste**:
*Vías sin pavimentar a una distancia de 16 m.
*Zona de chimeneas industriales papas fritas, frigorífico a una distancia de 17 m.
*Zona de parqueo de vehículos de carga de materias primas de las industrias alrededor a una distancia de 20 m.

**Sur:**
* Vías sin pavimentar a una distancia de 10 m.
* Zona de parqueo de vehículos de carga de materias primas de las industrias alrededor a una distancia de 10 m.

## INFORMACIÓN GENERAL Y CRITERIOS DE UBICACIÓN

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **NOMBRE ESTACIÓN:** | PAPA A LA LATA | | | **Estación No.** | **1** |
| **MUNICIPIO / DTO:** | FONTIBÓN / BOGOTA | | | | |
| **GEORREFERENCIACIÓN:** | N: 1'006.290 | ASNM (m): | 2574 | | |
| | E: 993.796 | ALT. DEL SUELO: | 15 | | |

## TIPO DE ESTACIÓN:

| **Nivel I:** Área | | **Nivel II:** Tiempo | | **Nivel III:** Emisiones Dominantes | |
|---|---|---|---|---|---|
| Urbana: | X | Fija: | | Tráfico: | - |
| Suburbana: | | Indicativa: | X | Punto Crítico: | - |
| Rural: | | | | Industrial: | X |
| | | | | De Fondo: | - |

**Nivel IV:** Información

| **TRAFICO:** | | **INDUSTRIAL:** | |
|---|---|---|---|
| Distancia al borde (m): | 10 | Tipo de Industria: | Alimenticia - Frigorífico |
| Ancho de la Vía: | 45 | Distancia Fuentes (Km): | 0,1 |
| Tráfico Diario Sentido 1: | N.A | Dirección (Grados): | En alrededores |
| Tráfico Diario Sentido 2: | N.A | | |
| Velocidad Promedio: | 20 | **PUNTO CRITICO:** | |
| % Vehículos Pesados: | 10% | Fuente Evaluada: | - |
| Estado de la Vía: | Sin Pavimentar | Calle Encajonada: | - |
| | | Calle Libre: | - |
| **INDICATIVAS:** | | **RURALES DE FONDO:** | |
| Tiempo de Muestreo: | 18 días | Cercana Ciudades | - |
| Seco/Húmedo: | Seco | Regionales | - |
| Fecha Inicio: | 2019-08-13 | | |

## OBJETIVOS REPRESENTATIVIDAD DE LA ESTACIÓN:

Monitoreo de calidad de aire mediante el uso de muestreadores Hi—Vol. para $PM_{10}$, muestreadores Low – Vol para $PM_{2.5}$, rack 3 gases para contaminantes $NO_2$ y $SO_2$, equipo infrarrojo no dispersivo CO y equipo de medición UV para $O_3$.

## REPRESENTATIVIDAD

Estudio de calidad de aire, indicativo por 18 días

## FUENTES DE EMISIÓN:

| | |
|---|---|
| **Principal Fuente:** | Chimeneas Industriales |
| **Segunda Fuente:** | Vía secundaria sin pavimentar |
| **Tercera Fuente:** | |

## CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN:

| PARÁMETRO | | TECNOLOGÍA | MÉTODO REFERENCIA | METEOROLOGÍA | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***PM2.5*** | X | Low-Vol | CFR US-EPAT40P50,AP_L | **D. Viento** | X |
| ***PM10*** | X | Hi-Vol. | CFR US-EPA T40 P50, AP_J | **V. Viento** | X |
| ***PST*** | | - | - | **$P_{BAROMÉTRICA}$** | X |
| ***CO*** | X | IRND | CFR US-EPA T40 P50, AP_C | **$T_{AMBIENTE}$** | X |
| ***$SO_2$*** | X | RACK | CFR US-EPA T40 P50 AP_A-2 | **H. Relativa** | X |
| ***$NO_2$*** | X | Quimioluminiscencia | CFR US-EPAT40P50,AP_F | **Precipitación** | X |
| ***$O_3$*** | X | UV | CFR US-EPAT40P50,AP_D | **Rad. Solar** | -- |

## DATOS DEL PERSONAL ENCARGADO:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Resp. Diligenciamiento:** | Dayron Vargas | **Cargo:** | Tec de Campo | **FECHA:** | 2019-08-13 |

**Tabla 4-5 Ficha técnica de Estación 2**

| Elementos | Criterio | Observaciones |
|---|---|---|
| ESTACIÓN | Seguridad y entorno | Bueno |
| | Limpieza | Bueno |
| | Conexiones eléctricas | Bueno |
| | Estabilidad de la estructura | Buena |
| | ¿Existen salidas de sistemas de aire acondicionado o ventilaciones cerca? | No |
| | ¿Existen zonas de parqueo, depósitos de químicos o de combustibles? | Si |
| | ¿La estación tiene generadores eléctricos a combustible? | No |
| | ¿Existen acumulaciones de residuos sólidos o líquidos en las cercanías? | No |
| | ¿Existen fuentes menores cercanas de contaminación como hornos, o quemadores de basuras? | No |
| | ¿Existen carreteras destapadas, campos deportivos o lotes sin vegetación? | Si |
| MUESTREADOR | ¿Cuenta con supresor de picos? | No |
| | Voltaje de entrada al equipo | 110 v |
| | ¿Es estable? | Si |
| | Describa la conexión eléctrica realizada | Conexión eléctrica 110 v |

| Criterio | Dimensión | Observaciones | ¿Cumple? |
|---|---|---|---|
| Altura de la toma muestra (m)* | 14 | Se encuentra instalado en andamio sobre terraza | **Cumple** |
| Distancia a obstáculos elevados (m) | N/A | Zona despejada | **Cumple** |
| Diferencia de altura entre el muestreador y el obstáculo elevado (m) | N/A | No se presenta obstáculo elevado | **Cumple** |
| Distancia vertical desde las estructuras de soporte hasta él toma muestra (m) | 2 | Piso de terraza a inlet | **Cumple** |
| Distancia a otra toma muestras de PM (m) | 6 | $PM_{10}$ – $PM_{2.5}$ | **Cumple** |
| Distancia a árboles (m) | N/A | Zona despejada | **Cumple** |
| Distancia de separación a vías (m) | 10 | Vía secundaria | **Cumple** |

**Norte**:
*Chimeneas domésticas a una distancia de 10 m.
*Parqueadero a una distancia de 10 m.

**Este**:
*Parqueadero a una distancia a una distancia de 15 m.
* Vía sin pavimentar a una distancia de 15 m.
*Obras civiles a una distancia de 143 m.
*Movimiento de arena a una distancia de 155 m.
*Vía principal doble sentido a una distancia de 265 m.

**Oeste**:
*Zona de chimeneas industriales papas fritas, frigorífico a una distancia de 15 m.
*Parqueadero a una distancia de 33 m

**Sur:**
*Parqueadero a una distancia de 10 m.
*Obras civiles a una distancia de 84 m.

## INFORMACIÓN GENERAL Y CRITERIOS DE UBICACIÓN

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **NOMBRE ESTACIÓN:** | EDIFICIO | | | **Estación No.** | **2** |
| **MUNICIPIO / DTO:** | FONTIBÓN - BOGOTÁ | | | | |
| **GEORREFERENCIACIÓN:** | N: 1'006.170 | ASNM (m): | 2580 | | |
| | E: 993.910 | ALT. DEL SUELO: | 14 | | |

## TIPO DE ESTACIÓN:

| **Nivel I:** Área | | **Nivel II:** Tiempo | | **Nivel III:** Emisiones Dominantes | |
|---|---|---|---|---|---|
| Urbana: | X | Fija: | | Tráfico: | - |
| Suburbana: | | Indicativa: | X | Punto Crítico: | - |
| Rural: | | | | Industrial: | X |
| | | | | De Fondo: | - |

**Nivel IV:** Información

| **TRAFICO:** | | **INDUSTRIAL:** | |
|---|---|---|---|
| Distancia al borde (m): | 10 | Tipo de Industria: | Alimenticia - Frigorífico |
| Ancho de la Vía: | 4,5 | Distancia Fuentes (Km): | 0,1 |
| Tráfico Diario Sentido 1: | N.A | Dirección (Grados): | En alrededores |
| °Tráfico Diario Sentido 2: | N.A | | |
| Velocidad Promedio: | 20 | **PUNTO CRITICO:** | |
| % Vehículos Pesados: | 10% | Fuente Evaluada: | - |
| Estado de la Vía: | Pavimentada | Calle Encajonada: | - |
| | | Calle Libre: | - |
| **INDICATIVAS:** | | **RURALES DE FONDO:** | |
| Tiempo de Muestreo: | 18 días | Cercana Ciudades | - |
| Seco/Húmedo: | Seco | Regionales | - |
| Fecha Inicio: | 2019-08-01 | | |

## OBJETIVOS REPRESENTATIVIDAD DE LA ESTACIÓN:

Monitoreo de calidad de aire mediante el uso de muestreadores Hi—Vol. para $PM_{10}$, muestreadores Low – Vol para $PM_{2.5}$, rack 3 gases para contaminantes $NO_2$ y $SO_2$, equipo infrarrojo no dispersivo CO y equipo de medición UV para $O_3$.

## REPRESENTATIVIDAD

Estudio de calidad de aire, indicativo por 18 días

## FUENTES DE EMISIÓN:

| | |
|---|---|
| **Principal Fuente:** | Chimeneas industriales |
| **Segunda Fuente:** | Obras civiles |
| **Tercera Fuente:** | |

## CONFIGURACIÓN DE LA ESTACIÓN:

| **PARÁMETRO** | | **TECNOLOGÍA** | **MÉTODO REFERENCIA** | **METEOROLOGÍA** | |
|---|---|---|---|---|---|
| ***PM2.5*** | X | Low-Vol | CFR US-EPAT40P50,AP_L | **D. Viento** | X |
| ***PM10*** | X | Hi-Vol. | CFR US-EPA T40 P50, AP_J | **V. Viento** | X |
| ***PST*** | | - | - | **$P_{BAROMÉTRICA}$** | X |
| ***CO*** | X | IRND | CFR US-EPA T40 P50, AP_C | **$T_{AMBIENTE}$** | X |
| ***$SO_2$*** | X | RACK | CFR US-EPA T40 P50 AP_A-2 | **H. Relativa** | X |
| ***$NO_2$*** | X | Quimioluminiscencia | CFR US-EPAT40P50,AP_F | **Precipitación** | X |
| ***$O_3$*** | X | UV | CFR US-EPAT40P50,AP_D | **Rad. Solar** | -- |

## DATOS DEL PERSONAL ENCARGADO:

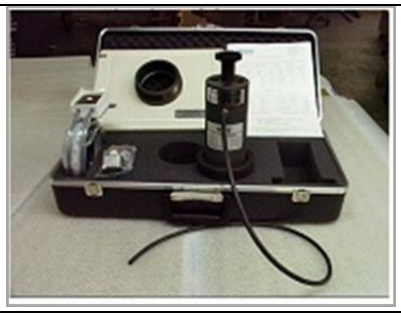
| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Resp. Diligenciamiento:** | Dayron Vargas | **Cargo:** | Tec de Campo | **FECHA:** | 2019-08-13 |

## 4.4 EQUIPOS DE MEDICIÓN

Las estaciones de monitoreo se equiparon con las siguientes unidades de monitoreo, las cuales se presentan en la Tabla 4-6:

**Tabla 4-6 Equipos empleados en el monitoreo de calidad de aire**

| Equipo | Fotografía | Número de Serie | Fecha de calibración (C) Verificación (V) Llenado (LI) Expiración (E) |
|---|---|---|---|
| Equipo $PM_{10}$ con controlador de flujo volumétrico (VFC) Enviromental Tisch TE-6070 | | E1: E-CAM-$PM_{10}$-002 | 2019-08-13 (V) |
| | | E2: E-CAM-$PM_{10}$-004 | 2019-08-13 (V) |
| Equipo muestreador de bajo volumen para medición de $PM_{2.5}$ | | E1: E-CAM-LOW-003 | 2019-08-13 (V) |
| | | E2: E-CAM-LOW-018 | 2019-08-13 (V) |
| Tren de muestreo para medición de gases ( $SO_2$) mediante absorción en soluciones especiales (Rack de gases) | | E1: E-CAM-RACK-012 | 2019-08-13 (V) |
| | | E2: E-CAM-RACK-010 | 2019-08-13 (V) |

| Equipo | Fotografía | Número de Serie | Fecha de calibración (C) Verificación (V) Llenado (LI) Expiración (E) |
|---|---|---|---|
| Analizador Automático NO2 Thermo 42i | | E1: CAMAC 036 | 2019-08-13 (V) |
| | | E2: E-CAM-AUTO-005 | 2019-08-13 (V) |
| Equipo Analizador de CO medición directa NDIR | | E1: CAMAC 039 | 2019-08-13 (V) |
| | | E2: E-CAM-AUTO-001 | 2019-08-13 (V) |
| Equipo analizador Thermo 49C medición directa $O_3$ por UV | | E1: E-CAM-AUTO-013 | 2019-08-13 (V) |
| | | E2: E-CAM-AUTO-004 | 2019-08-13 (V) |
| Calibrador tipo variflow de equipo Hi Vol |  | SERIAL/MODELO: 3,944,153 | 2019-06-10 al 2020-06-09 (C) |

| Equipo | Fotografía | Número de Serie | Fecha de calibración (C) Verificación (V) Llenado (LI) Expiración (E) |
|---|---|---|---|
| Caudalímetro de gases BIOS | | 5370 | 2018-02-20 al 2020-02-19 (C) |
| Caudalímetro de Gases Deltacal | | S/N 520 | 2019-02-20 al 2020-02-20 (C) |
| Estación Meteorológica | | 023.03 | |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

## 4.5 RESPONSABLE DEL INFORME

El monitoreo de Calidad del Aire y el presente informe fue realizado por la empresa SIAM INGENIERÍA S.A.S., Laboratorio acreditado por el IDEAM mediante la Resolución No. 1742 del 30 de julio de 2018, cuyos datos se consignan en la Tabla 4-7.

**Tabla 4-7. Responsable del Informe.**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **RAZÓN SOCIAL** | SIAM INGENIERÍA S.A.S | **CIUDAD** | Bucaramanga |
| **NIT** | 900.525-359-7 | **CONTACTO** | Luis Fernando Reyes Díaz |
| **DIRECCIÓN** | Calle 87 No. 24-36 Diamante II | **E--MAIL** | asesorcomercial@siamingenieria.com |
| **TELÉFONO** | 7 6941068 | **CELULAR** | 3183976635 |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

La toma de las muestras de $PM_{2.5}$ fue realizada por nuestro laboratorio aliado PSL Proanálisis Ltda, acreditado por el IDEAM mediante la Resolución 0191 del 06 de febrero de 2017, cuyos datos se consignan en la Tabla 4-8:

**Tabla 4-8. Laboratorio toma de muestras $PM_{2.5}$**

| | | | |
|---|---|---|---|
| **RAZÓN SOCIAL** | PSL Proanálisis Ltda | **CIUDAD** | Bucaramanga |
| **NIT** | 800.193.010-3 | **CONTACTO** | Olga Roa |
| **DIRECCIÓN** | Carrera 14 No. 55-18 | **E--MAIL** | pslproanalisis@yahoo.com |
| **TELÉFONO** | (7)6444625 | **CELULAR** | 3105736018 |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

Las Resoluciones de acreditación de SIAM Ingeniería y los laboratorios aliados se pueden visualizar en el Anexo 4.

# 5 RESULTADOS Y ANÁLISIS

Esta sección presenta los resultados de calidad de aire obtenidos durante la campaña de monitoreo desarrollada del 13 de agosto al 30 de agosto de 2019 con el objeto de evaluar las condiciones actuales de los contaminantes $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$, en el área de influencia, presentándose en primer lugar las condiciones meteorológicas que predominaron en la zona y se describen los resultados de concentración corregidos a condiciones de referencia de 25°C y 760 mm Hg comparados con la norma vigente de calidad del aire para Colombia Resolución 2254 del 01 de noviembre de 2017 del MADS para los contaminantes medidos, con el análisis respectivo.

## 5.1 METEOROLOGÍA

Con el propósito de tener una evaluación climatológica del área de influencia que conforman el proyecto, durante el tiempo de realización del monitoreo de calidad de aire se tomaron mediciones meteorológicas mediante el uso de equipo portátil instalado en la estación 2, registrándose datos con intervalos de 30 minutos en los parámetros de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa, precipitación, dirección y velocidad de viento.

En la Figura 5-1, se observa la estación meteorológica ubicada en la estación 2. Edificio.

**Figura 5-1. Estación meteorológica ubicada en la estación 2: Edificio.**

**Georreferenciación**
**Norte:** 1'006.170 **Este:** 993.910 **H:** 2580

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En la Tabla 5-1, se presenta el resumen de las variables meteorológicas con sus respectivas gráficas y análisis:

**Tabla 5-1 Resumen variables meteorológicas promedio diario**

| *Fecha* | *Temp promedio (°C)* | *Pbar promedio (mm Hg)* | *Humedad promedio (%)* | *WS promedio (m/s)* | *Precip promedio (mm $H_2O$)* |
|---|---|---|---|---|---|
| 2019-08-12 | 16,33 | 564,48 | 62,40 | 4,07 | 2,10 |
| 2019-08-13 | 14,18 | 564,58 | 78,95 | 2,66 | 1,20 |
| 2019-08-14 | 13,08 | 565,16 | 69,95 | 4,10 | 0,00 |
| 2019-08-15 | 13,46 | 565,59 | 59,77 | 3,81 | 0,00 |
| 2019-08-16 | 12,53 | 565,86 | 79,15 | 1,50 | 3,30 |
| 2019-08-17 | 13,09 | 565,55 | 78,10 | 0,89 | 2,70 |
| 2019-08-18 | 15,20 | 565,40 | 66,69 | 2,85 | 0,00 |
| 2019-08-19 | 12,48 | 565,47 | 75,18 | 3,26 | 11,10 |
| 2019-08-20 | 13,27 | 565,68 | 66,87 | 2,75 | 0,00 |
| 2019-08-21 | 14,98 | 565,95 | 48,58 | 3,94 | 0,00 |
| 2019-08-22 | 14,56 | 566,03 | 58,73 | 3,11 | 0,00 |
| 2019-08-23 | 14,79 | 565,92 | 64,92 | 4,11 | 0,00 |
| 2019-08-24 | 14,53 | 565,75 | 64,17 | 4,88 | 0,00 |
| 2019-08-25 | 14,33 | 565,38 | 62,35 | 3,63 | 0,00 |
| 2019-08-26 | 13,94 | 565,20 | 65,54 | 3,03 | 0,30 |
| 2019-08-27 | 14,92 | 564,96 | 62,94 | 4,10 | 0,00 |
| 2019-08-28 | 14,38 | 565,15 | 65,92 | 4,06 | 0,00 |
| 2019-08-29 | 14,72 | 565,30 | 57,17 | 4,05 | 0,00 |
| 2019-08-30 | 12,93 | 565,61 | 62,25 | 1,89 | 0,00 |
| ***Promedio*** | **14,09** | **565,42** | **65,77** | **3,30** | |
| ***Acumulado*** | | | | | **20,70** |

### 5.1.1 VELOCIDAD DEL VIENTO

La dispersión de contaminantes de una fuente depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana que es creada por el movimiento horizontal (viento) y vertical de la atmósfera. La velocidad del viento afecta en gran medida la concentración de contaminantes en un área, mientras mayor sea la velocidad del viento mayor será la dilución y dispersión de contaminantes. La Figura 5-2 muestra el comportamiento de la velocidad del viento durante la campaña de monitoreo, en ella se observa que los registros estuvieron en el orden de los 0,1 a 10,5 m/s.

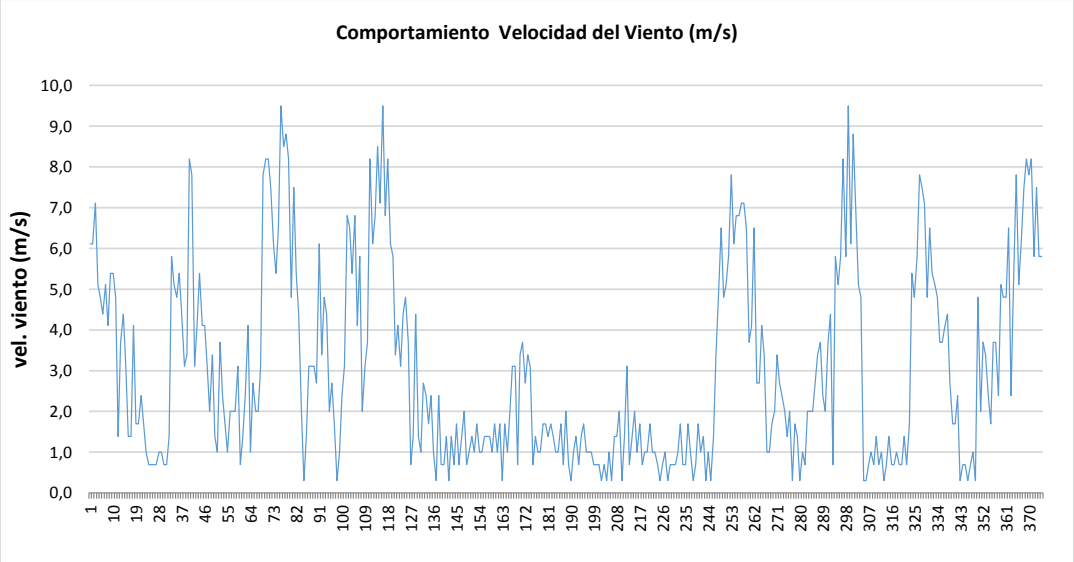



**Figura 5-2. Velocidad del viento durante el tiempo de muestreo**

Fuente. Información suministrada por Comnambiente S.A.S.

La mayor velocidad del viento registrada fue de 10,5 m/s, el día 24 de agosto de 2019 a las 14:00, la velocidad mínima fue 0,3 m/s y la velocidad promedio estuvo por el orden de 3,30 m/s que según la escala Beaufort (Ver Tabla 5-2) se clasifica en Flojito por su velocidad media.

**Tabla 5-2. Escala de Beaufort.**

| Definición | m/s | Condición en tierra |
|---|---|---|
| • F0-Calma | 0-0,2 | El humo sube verticalmente |
| • F1 - Ventolina | 0,3-1,5 | La dirección del viento se define por la del humo, pero no por las veletas y banderas |
| • F2 - Flojito (Brisa muy débil) | 1,6-3,3 | El viento se siente en la cara. Se mueven las hojas de los árboles, veletas y banderas |
| • F3 - Flojo (Brisa débil) | 3,4-5,4 | Las hojas de los árboles se agitan constantemente. Se despliegan las banderas |
| • F4 – Bonacible (Brisa moderada) | 5,5 – 7,9 | Se levanta polvo y papeles, se agitan las copas de los árboles |
| • F5 – Fresquito ( Brisa fresca) | 8,0 – 10,7 | Pequeños movimientos de los árboles, superficies de los lagos ondulados. |
| • F6 – Fresco (Brisa fuerte) | 10,8 – 13,8 | Se mueven las ramas de los árboles, dificultad para mantener abierto el paraguas. |

Fuente: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM.

### 5.1.2 DIRECCIÓN DEL VIENTO

De la Figura 5-3 a la Figura 5-5 se presenta la rosa de los vientos para el periodo de monitoreo.

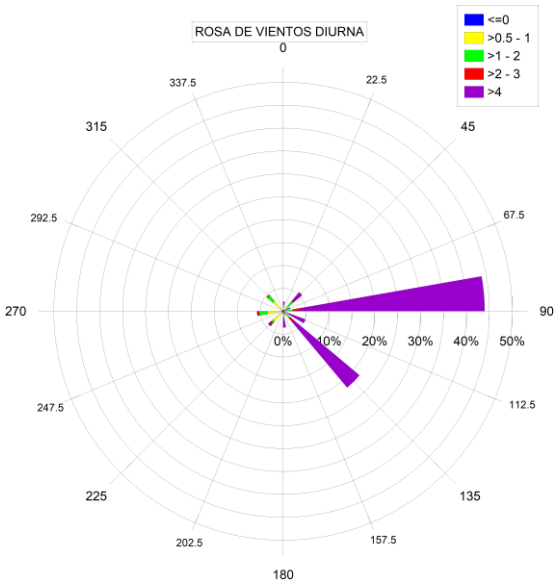



**Figura 5-3 Rosa de viento diurna**

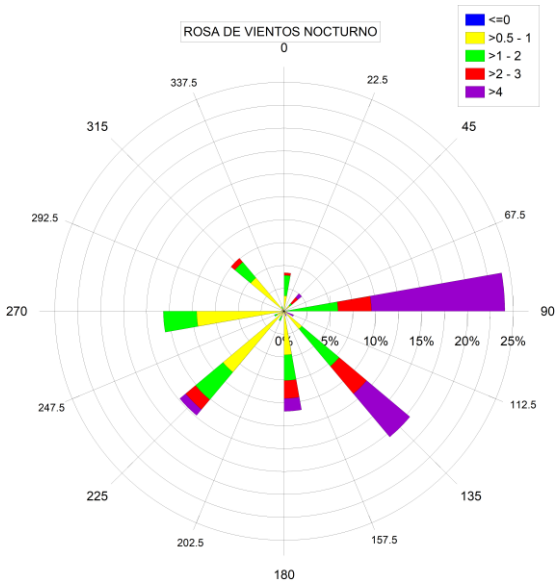



**Figura 5-4 Rosa de viento nocturna**

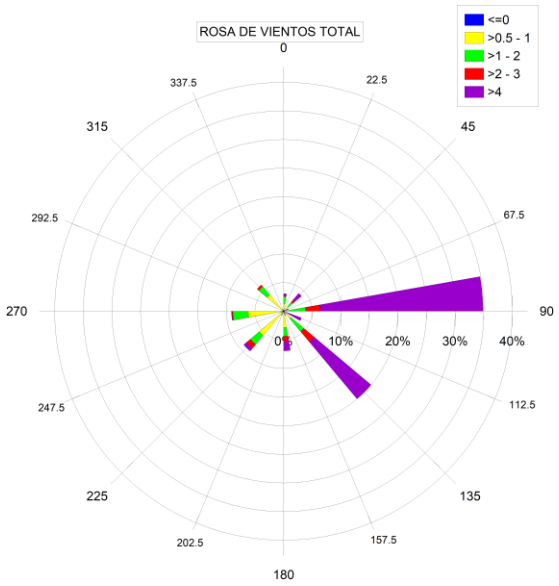



**Figura 5-5 Rosa de viento total**

Fuente. Información suministrada por Comnambiente S.A.S.

En la Figura 5-3 se presenta la rosa de vientos diurna donde se resalta que los vientos alcanzaron velocidades 10,5 m/s, los cuales provienen predominantemente desde el Este (E) con una frecuencia cercana al45%. Se registraron ráfagas de viento con velocidades mayores a los 4 m/s en todas las direcciones.

En la Figura 5-4 se presenta la rosa de vientos nocturna donde se resalta que los vientos alcanzaron velocidades de 7,1 m/s y provienen predominantemente desde el Este (E) con una frecuencia cercana a 25%.

En la Figura 5-5 se presenta la rosa de vientos total donde se observa que los vientos alcanzaron velocidades 10,5 m/s, los cuales provienen predominantemente desde el ESTE (E) con una frecuencia cercana al 35%, y del Sur Este (SE) en un 20%; se registraron ráfagas de viento con velocidades mayores a los 4 m/s en todas las direcciones.

### 5.1.3 COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA

La dispersión de contaminantes depende de la cantidad de turbulencia en la atmósfera cercana que puede ser generada por el movimiento horizontal (viento) y vertical de la atmósfera. El movimiento vertical de la atmósfera afecta el transporte y dispersión de los contaminantes del aire, debido a los cambios de temperatura que se presentan durante el día se genera un movimiento constante que crea condiciones inestables y dispersa los contaminantes. Se pueden presentar condiciones atmosféricas estables originando la inversión térmica cuando el aire más caliente se encuentra por encima del aire frío, impidiendo la mezcla vertical, reteniendo el ascenso y dispersión de contaminantes de las capas más bajas de la atmósfera lo que causa un problema localizado de contaminación del aire.

En la Figura 5-6 se observa que la temperatura máxima registrada fue de 19,9°C registrada el 18 de agosto de 2019 a las 13:00 p.m., la temperatura mínima fue de 8,9°C registrada el 30 de agosto de 2019 a la 5:00 a.m. y la temperatura media es de 14,9°C.

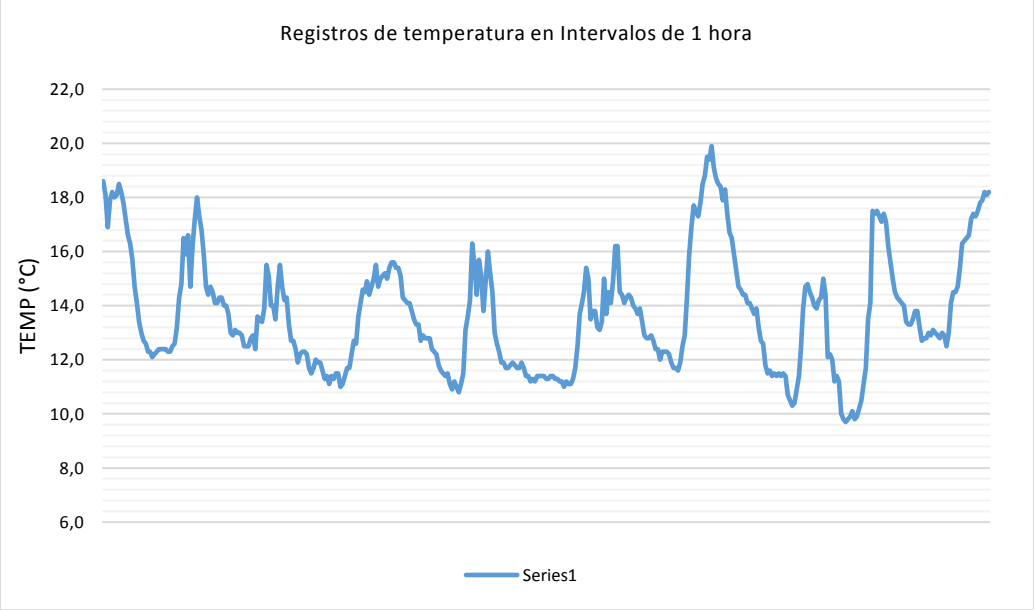
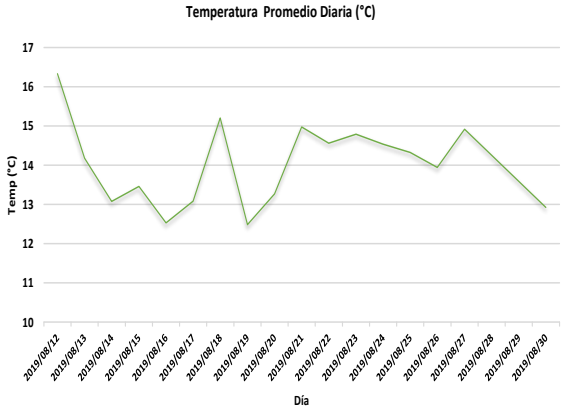



**Figura 5-6. Temperatura ambiente en °C durante el tiempo de muestreo**
Fuente: Información suministrada por Comnambiente S.A.S.

La Figura 5-8 presenta el promedio multi-horario de temperatura, es decir, el promedio para todas las horas 1, todas las horas 2, todas las horas 3, etc…, en el periodo de monitoreo, la figura evidencia un aumento de temperatura desde las 6:00 horas alcanzando su máximo de aproximadamente 16,67°C a las 15:00 horas donde la temperatura inicia un descenso hacia valores cercanos a los 13,04°C. En cuanto al promedio diario (ver Figura 5-7 ), se pueden resaltar que los días más calientes estuvieron por el orden de los 16,33°C.



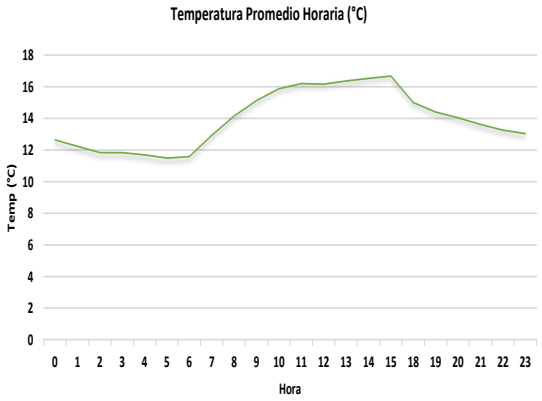
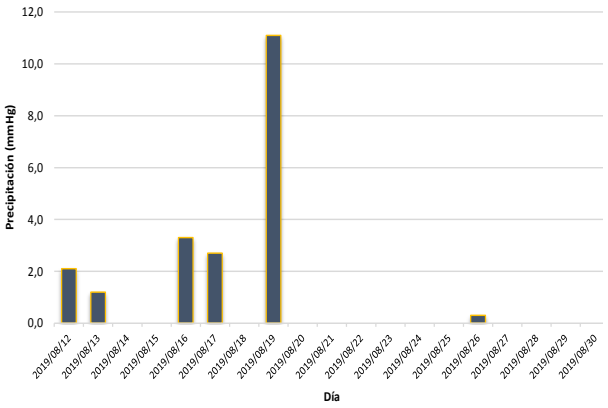




**Figura 5-7 Temperatura promedio diaria °C** **Figura 5-8Temperatura promedio multihorario °C**
Fuente: Información suministrada por Comnambiente S.A.S.

### 5.1.4 PRECIPITACIÓN

La precipitación es uno de los factores climáticos que mayor incidencia tiene dentro de los procesos de dispersión de contaminantes, pues su presencia hace que las sustancias en suspensión en forma de aerosoles o gases sean arrastradas con ella.

La Figura 5-9 presenta los registros acumulados diarios de precipitación comprendidos del 01 de agosto al 18 de agosto de 2019. De los 11 días de lluvia, 1 corresponde a precipitación fuerte, aproximadamente el 5,26% del periodo la precipitación se puede catalogar como escasa y ligera, lo que valida que se haya realizado en días continuos (Ver Figura 5-10).



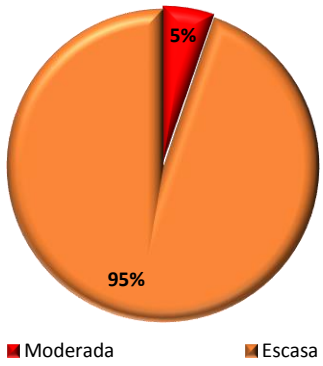




**Figura 5-9 Precipitación acumulada diaria (mm$H_2O$)** **Figura 5-10 Distribución lluvias por categoría**

Fuente: Información suministrada por Comnambiente S.A.S.

## 5.2 CALIDAD DEL AIRE

Una vez tomadas las muestras de campo, analizadas en el laboratorio y posteriormente aprobadas por el Coordinador de Calidad, se determinó si las muestras cumplían con todos los requerimientos para ser validadas y tenidas en cuenta en el tratamiento tratamiento estadístico[1]. Los resultados de $PM_{10}$ fueron obtenidos a partir de equipos de alto volumen para material particulado (Hi-Vol.); los resultados de $PM_{2.5}$ fueron obtenidos a partir de equipos de bajo volumen (Low- Vol), los resultados de $SO_2$ y $NO_2$ fueron obtenidos a partir de equipos RAC de gases, los resultados de CO y $O_3$ fueron obtenidos a partir de equipo infrarrojo no dispersivo y equipo UV respectivamente; los resultados presentados en este capítulo fueron obtenidos del 13 de agosto al 30 de agosto de 2019 y las concentraciones son expresadas a "*CONDICIONES DE REFERENCIA DE 25 °C y 760 mmHg".*

La toma de muestras de $PM_{2.5}$ se realizó con el Laboratorio PSL Proanálisis Ltda acreditado mediante Resolución IDEAM No. 191 del 06 de febrero de 2017, el pesaje de filtros $PM_{10}$ y

[1] Determinación de valores Promedio, Mediana, Máximo, Mínimo, Percentil 25, Percentil 75 y Desviación estándar.

$PM_{2.5}$ y el análisis de los gases se llevó a cabo por SIAM INGENIERÍA S.A.S acreditado mediante Resolución No. 1742 del 30 de julio de 2018 del IDEAM. (Ver Anexo 4).

Respecto a los tiempos de medición para $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ y $SO_2$ las muestras fueron válidas en todas las estaciones de calidad del aire pues se mantuvieron entre 23 y 25 horas cumpliendo con el tiempo requerido para las mediciones. Para CO y $NO_2$, las muestras fueron válidas pues se mantuvieron en tiempo establecido en la normatividad de 1 hora. Para $O_3$, las muestras fueron válidas pues se mantuvieron en tiempo establecido en la normatividad de 8 horas.

### 5.2.1 MATERIAL PARTICULADO INHALABLE $PM_{10}$

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de $PM_{10}$ se resumen de Tabla 5-3 a la Tabla 5-4:

**Tabla 5-3. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{10}$ Estación 1: Papa a la lata**

| Fecha | $PM_{10}$ (µg/m³) | Operación | | Símbolo | Resultado |
|---|---|---|---|---|---|
| 2019-08-13 | 36,74 | | | | |
| 2019-08-14 | 74,24 | Numero de datos | | n | 18 |
| 2019-08-15 | 92,45 | **Promedio Aritmético** | | **X1** | **70,87** |
| 2019-08-16 | 59,30 | Mediana | | m | 69,91 |
| 2019-08-17 | 14,50 | Coeficiente de Variación | | Cv | 44% |
| 2019-08-18 | 17,98 | Desviación estándar | | S | 31,19 |
| 2019-08-19 | 61,10 | Intervalo de confianza | | µ (10%) | 16,48 |
| 2019-08-20 | 42,59 | Intervalo de confianza | | µ1 (5%) | 54,39 |
| 2019-08-21 | 55,17 | Intervalo de confianza | | µ2 (2.5%) | 49,19 |
| 2019-08-22 | 103,34 | Percentil 25 | | 25% | 55,72 |
| 2019-08-23 | 95,79 | Percentil 75 | | 75% | 94,96 |
| 2019-08-24 | 57,38 | **Valor más alto registrado** | | **Max** | **125,74** |
| 2019-08-25 | 65,59 | Día de registro | | Date | 2019-08-29 |
| 2019-08-26 | 104,19 | Valor más bajo registrado | | Min | 14,50 |
| 2019-08-27 | 77,96 | Día de registro | | Date | 2019-08-17 |
| 2019-08-28 | 82,60 | Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 75 (µg/m³) | **NO CUMPLE** | Calificación valor máximo registrado respecto Norma Anual 50 (µg/m³) | **NO CUMPLE** |
| 2019-08-29 | 125,74 | | | | |
| 2019-08-30 | 108,97 | | | | |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

**Tabla 5-4. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{10}$ Estación 2: Edificio.**

| Fecha | $PM_{10}$ (µg/m³) | Operación | Símbolo | Resultado |
|---|---|---|---|---|
| 2019-08-13 | 27,15 | | | |
| 2019-08-14 | 54,94 | Numero de datos | n | 18 |
| 2019-08-15 | 86,10 | **Promedio Aritmético** | **X1** | **53,32** |
| 2019-08-16 | 59,76 | Mediana | m | 54,91 |

| Fecha | $PM_{10}$ (µg/m³) | Operación | | Símbolo | Resultado |
|---|---|---|---|---|---|
| 2019-08-13 | 27,15 | | | | |
| 2019-08-17 | 57,06 | Coeficiente de Variación | | Cv | 35% |
| 2019-08-18 | 20,49 | Desviación estándar | | S | 18,73 |
| 2019-08-19 | 54,87 | Intervalo de confianza | | µ (10%) | 9,90 |
| 2019-08-20 | 44,45 | Intervalo de confianza | | µ1 (5%) | 43,42 |
| 2019-08-21 | 69,62 | Intervalo de confianza | | µ2 (2.5%) | 36,73 |
| 2019-08-22 | 69,78 | Percentil 25 | | 25% | 40,68 |
| 2019-08-23 | 41,22 | Percentil 75 | | 75% | 68,48 |
| 2019-08-24 | 30,86 | **Valor más alto registrado** | | **Max** | **86,10** |
| 2019-08-25 | 38,71 | Día de registro | | Date | 2019-08-15 |
| 2019-08-26 | 75,66 | Valor más bajo registrado | | Min | 20,49 |
| 2019-08-27 | 40,50 | Día de registro | | Date | 2019-08-18 |
| 2019-08-28 | 79,71 | Calificación valor máximo registrado respecto Norma diaria 75 (µg/m³) | **NO CUMPLE** | Calificación valor máximo registrado respecto Norma Anual 50 (µg/m³) | **NO CUMPLE** |
| 2019-08-29 | 43,71 | | | | |
| 2019-08-30 | 65,07 | | | | |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En la Figura 5-11 se presentan los datos diarios de $PM_{10}$ obtenidos en cada una de las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria (75 µg/m$^3$). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de $PM_{10}$ en las estaciones de monitoreo, se evidencia que en las dos estaciones se presentaron valores superiores a la norma diaria (75 µg/m$^3$) atribuido principalmente a la cercanía de los puntos de medición a vías principales de alto flujo vehicular, vías sin pavimentar, actividades industriales que producen emisiones por chimeneas.

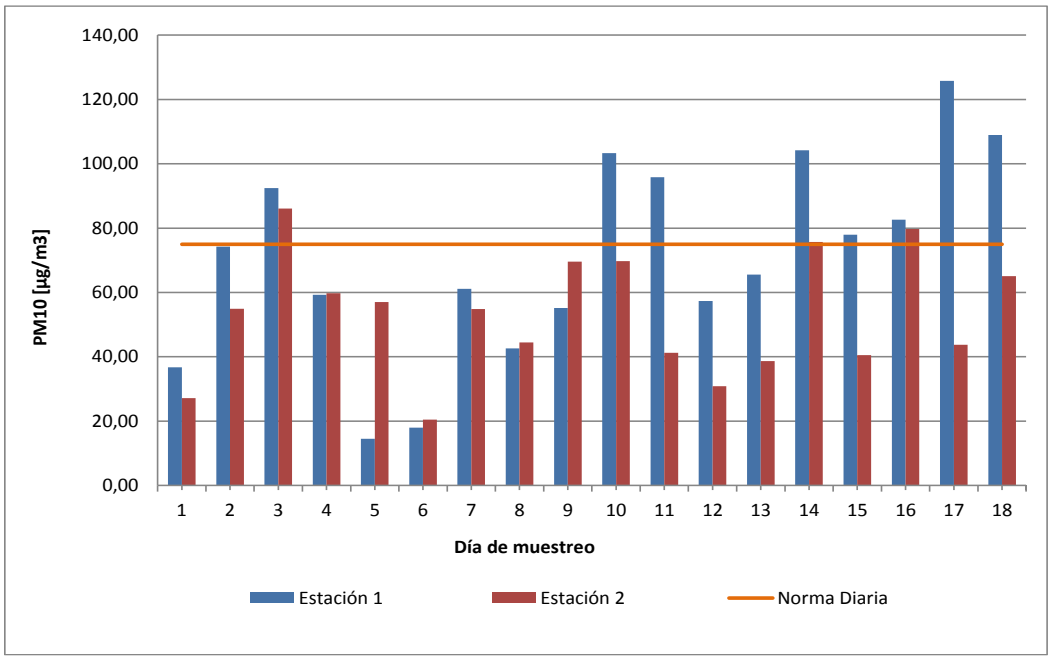



**Figura 5-11. Datos de calidad del aire para $PM_{10}$.**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En la Figura 5-12 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de $PM_{10}$ para las dos estaciones, comparado de forma indicativa es decir una proyección a nivel estadístico con la norma de exposición anual según se indica en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad de Aire en la sección 9.3.2.12.

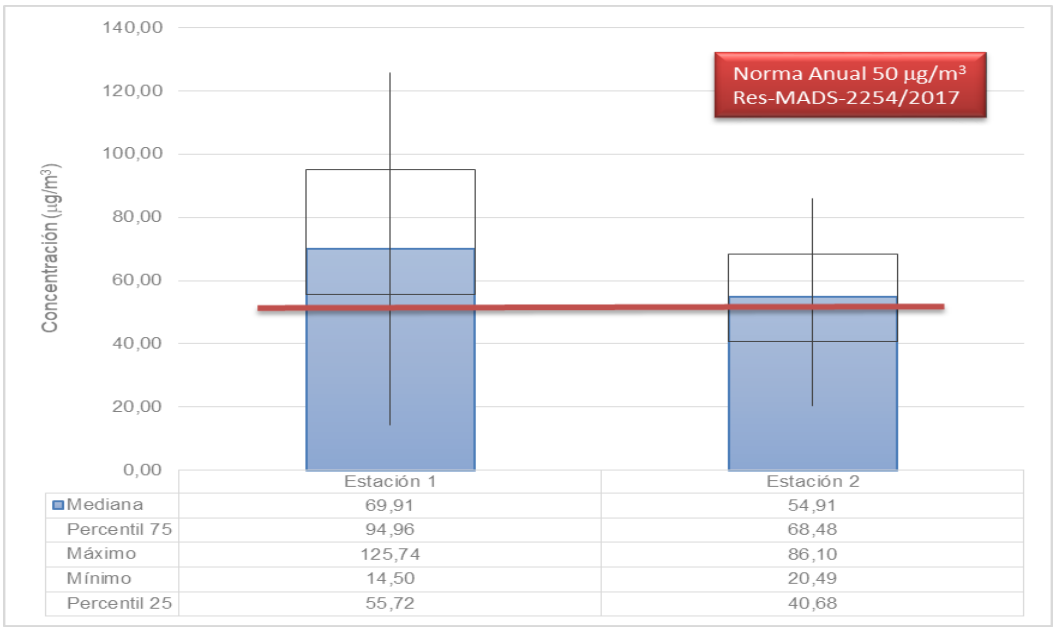



**Figura 5-12. Diagrama de caja para $PM_{10}$**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

La Figura 5-12 muestra que el valor máximo presentado en el estudio fue 70,87 µg/m$^3$ y al comparar de forma indicativa los valores de concentración promedio de $PM_{10}$ se evidencia que se presentaron valores superiores a la norma anual respectiva dada por la Resolución MADS 2254 de 2017, atribuido principalmente a las actividades industriales y vías con alto flujo vehicular cercanas a las estaciones de monitoreo.

### 5.2.2 MATERIAL PARTICULADO INHALABLE FINO $PM_{2.5}$

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de $PM_{2.5}$ se resumen de la Tabla 5-5 a la Tabla 5-6:

**Tabla 5-5. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 1: Papa a la lata**

| Fecha | $PM_{2.5}$ (µg/m³) | Operación | | Símbolo | Resultado |
|---|---|---|---|---|---|
| 2019-08-13 | 19,24 | | | | |
| 2019-08-14 | 25,40 | Numero de datos | | n | 18 |
| 2019-08-15 | 36,62 | **Promedio Aritmético** | | **X1** | **28,74** |
| 2019-08-16 | 21,37 | Mediana | | m | 27,82 |
| 2019-08-17 | 7,10 | Coeficiente de Variación | | Cv | 40% |
| 2019-08-18 | 7,15 | Desviación estándar | | S | 11,59 |
| 2019-08-19 | 26,98 | Intervalo de confianza | | µ (10%) | 6,12 |
| 2019-08-20 | 20,37 | Intervalo de confianza | | µ1 (5%) | 22,62 |
| 2019-08-21 | 46,38 | Intervalo de confianza | | µ2 (2.5%) | 29,59 |
| 2019-08-22 | 45,90 | Percentil 25 | | 25% | 22,23 |
| 2019-08-23 | 29,69 | Percentil 75 | | 75% | 35,62 |
| 2019-08-24 | 26,89 | **Valor más alto registrado** | | **Max** | **46,38** |
| 2019-08-25 | 32,62 | Día de registro | | Date | 2019-08-21 |
| 2019-08-26 | 41,99 | Valor más bajo registrado | | Min | 7,10 |
| 2019-08-27 | 24,84 | Día de registro | | Date | 2019-08-17 |
| 2019-08-28 | 28,67 | Calificación Norma diaria 37 (µg/m³) respecto al valor máximo registrado | **NO CUMPLE** | Calificación Norma Anual 25 (µg/m³) respecto al promedio aritmético calculado | **NO CUMPLE** |
| 2019-08-29 | 43,86 | | | | |
| 2019-08-30 | 32,33 | | | | |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

**Tabla 5-6. Resultados de concentraciones y estadísticas de $PM_{2.5}$ Estación 2: Edificio**

| Fecha | $PM_{2.5}$ (µg/m³) | Operación | Símbolo | Resultado |
|---|---|---|---|---|
| 2019-08-13 | 12,25 | | | |
| 2019-08-14 | 21,34 | Numero de datos | n | 18 |
| 2019-08-15 | 30,02 | **Promedio Aritmético** | **X1** | **23,35** |
| 2019-08-16 | 25,37 | Mediana | m | 23,73 |
| 2019-08-17 | 21,17 | Coeficiente de Variación | Cv | 28% |
| 2019-08-18 | 10,24 | Desviación estándar | S | 6,56 |
| 2019-08-19 | 22,14 | Intervalo de confianza | µ (10%) | 3,46 |
| 2019-08-20 | 19,90 | Intervalo de confianza | µ1 (5%) | 19,89 |
| 2019-08-21 | 30,74 | Intervalo de confianza | µ2 (2.5%) | 24,56 |
| 2019-08-22 | 25,31 | Percentil 25 | 25% | 19,64 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 2019-08-23 | 26,36 | Percentil 75 | | 75% | 29,63 |
| 2019-08-24 | 19,55 | **Valor más alto registrado** | | **Max** | **31,60** |
| 2019-08-25 | 15,58 | Día de registro | | Date | 2019-08-26 |
| 2019-08-26 | 31,60 | Valor más bajo registrado | | Min | 10,24 |
| 2019-08-27 | 30,17 | Día de registro | | Date | 2019-08-18 |
| 2019-08-28 | 31,23 | Calificación Norma diaria 37 (µg/m³) respecto al valor máximo registrado | **CUMPLE** | Calificación Norma Anual 25 (µg/m³) respecto al promedio aritmético calculado | **CUMPLE** |
| 2019-08-29 | 18,92 | | | | |
| 2019-08-30 | 28,48 | | | | |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En la Figura 5-13 se presentan los datos individuales por día de $PM_{2.5}$ obtenidos en cada una de las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria (37 µg/m$^3$). De acuerdo con el análisis estadístico efectuado para las concentraciones de $PM_{2.5}$ en las estaciones de monitoreo, se evidencia que en la estación 1 se presentaron valores superiores a la norma diaria (37 µg/m$^3$), atribuido principalmente a las vías de gran flujo vehicular, vías pavimentadas y chimeneas industriales cercanas al punto de medición.

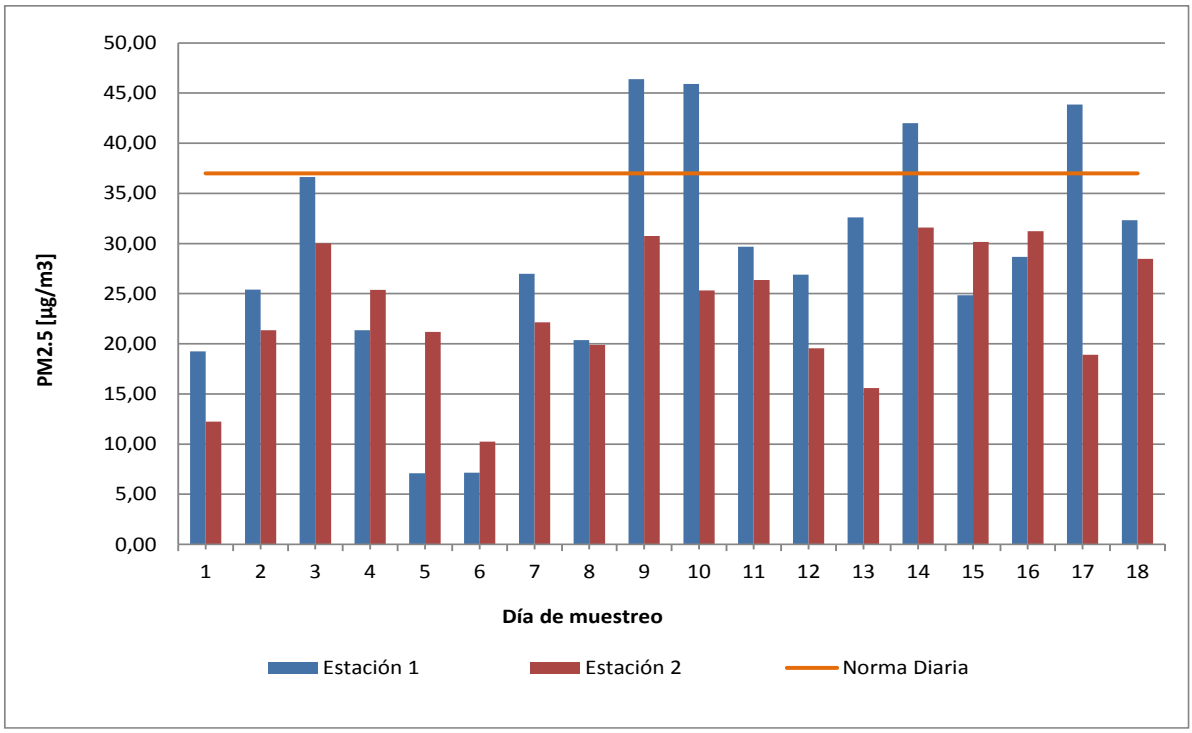
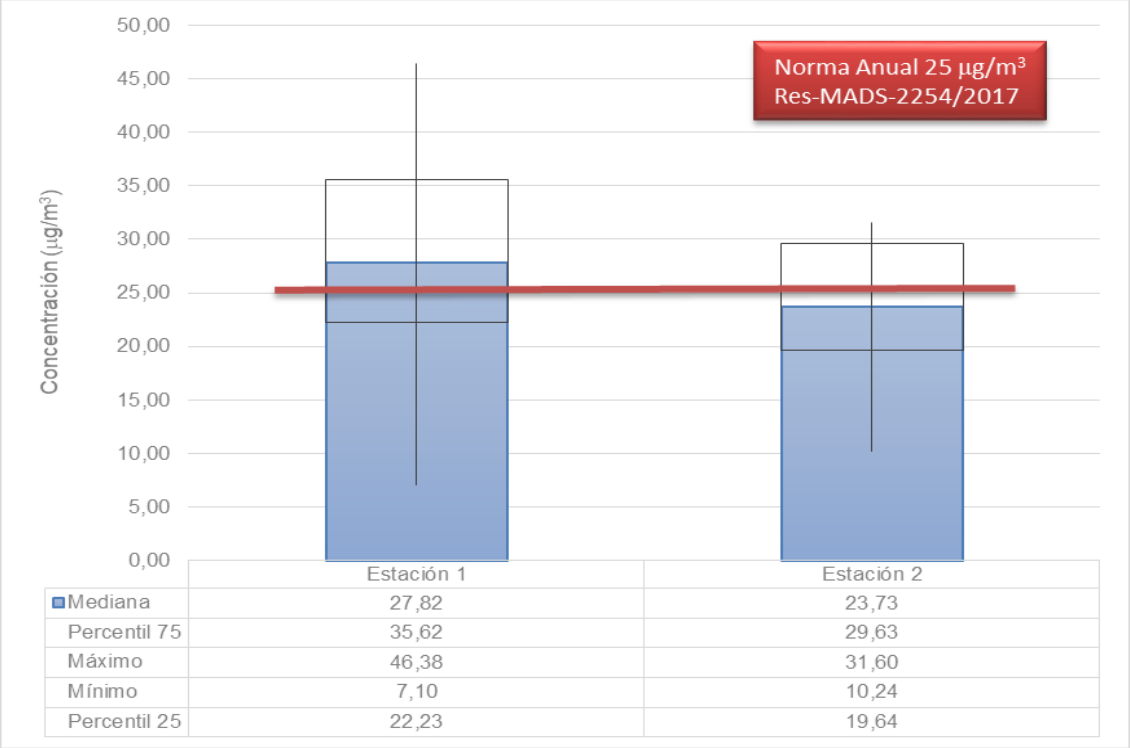



**Figura 5-13. Datos de calidad del aire para $PM_{2.5}$**

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En la Figura 5-14 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de $PM_{2.5}$ para las dos estaciones, comparado de forma indicativa es decir una proyección a nivel estadístico con la norma de exposición anual según se indica en el Protocolo de Monitoreo y Seguimiento de la Calidad de Aire en la sección 9.3.2.12.




| | Estación 1 | Estación 2 |
|---|---|---|
| Mediana | 27,82 | 23,73 |
| Percentil 75 | 35,62 | 29,63 |
| Máximo | 46,38 | 31,60 |
| Mínimo | 7,10 | 10,24 |
| Percentil 25 | 22,23 | 19,64 |

**Figura 5-14. Diagrama de caja para $PM_{2.5}$**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En la Figura 5-14 muestra que el valor máximo presentado en el estudio fue 46,38 µg/m$^3$ y al comparar de forma indicativa los valores de concentración promedio de $PM_{2.5}$ se evidencia que la estación 1: Papa a la lata presento valores superiores a la norma anual respectiva dada por la Resolución MADS 2254 de 2017, atribuido principalmente a las vías de gran flujo vehicular, vías pavimentadas y chimeneas industriales cercanas al punto de medición.

### 5.2.3 DIÓXIDO DE NITRÓGENO ($NO_2$)

En la Figura 5-20, Figura 5-21 y Figura 5-22, se presentan los datos individuales horarios de $NO_2$ y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254 de 2017 del MAVDT, para tiempos de exposición horaria (200µg/m$^3$).

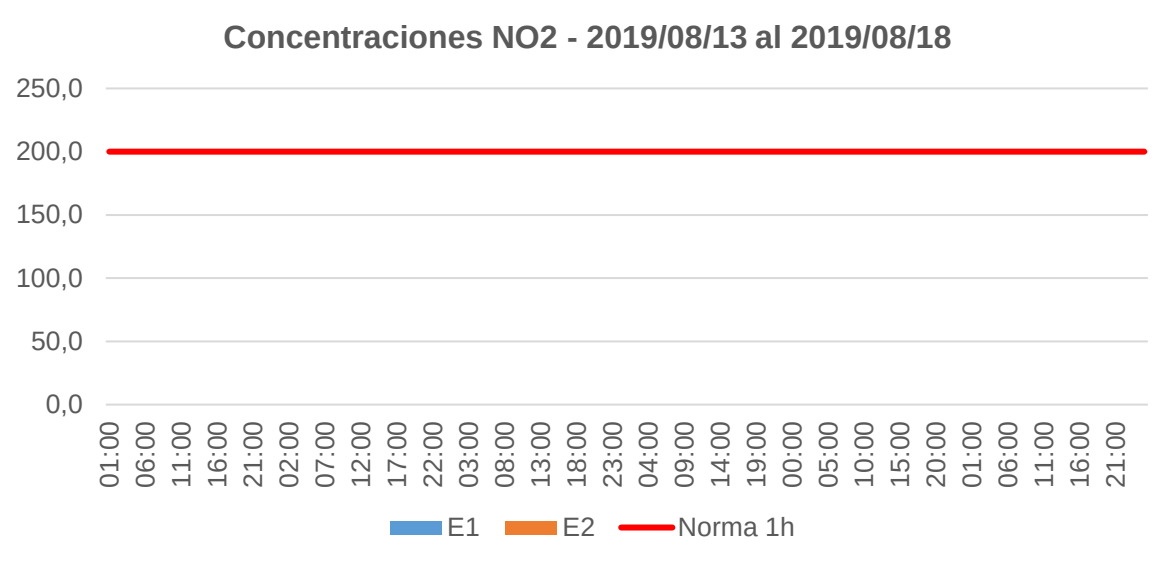



**Figura 5-15 Registro hora a hora $NO_2$ 2019-08-13 -2019-08-18**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

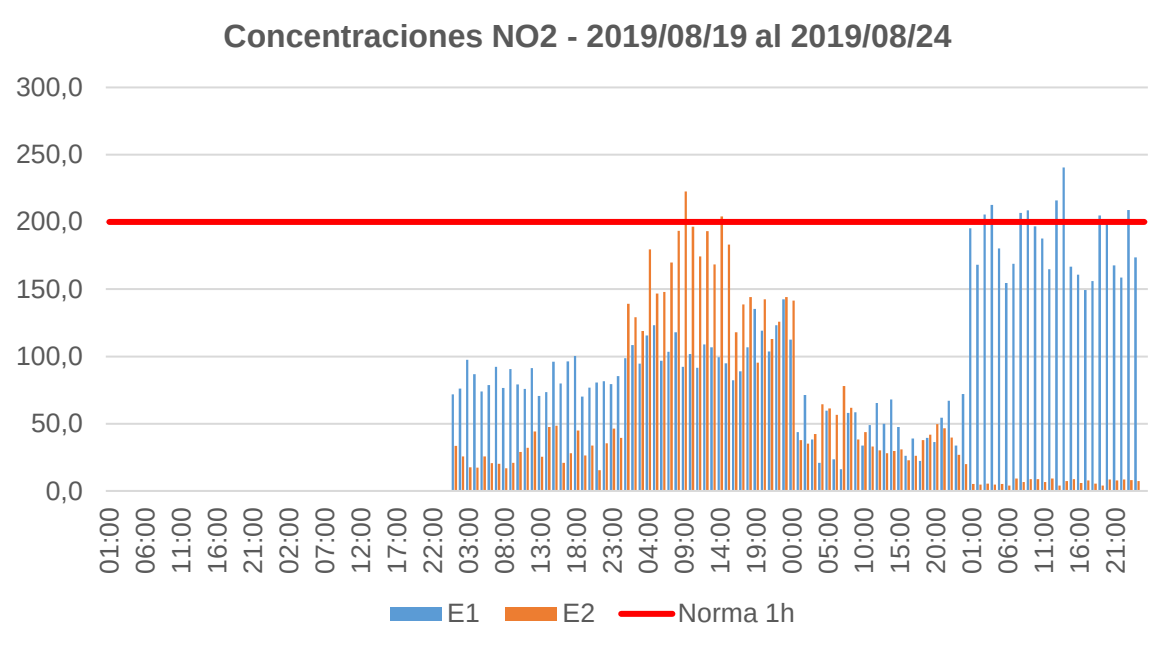



**Figura 5-16 Registro hora a hora $NO_2$ 2019-08-19 -2019-08-24**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

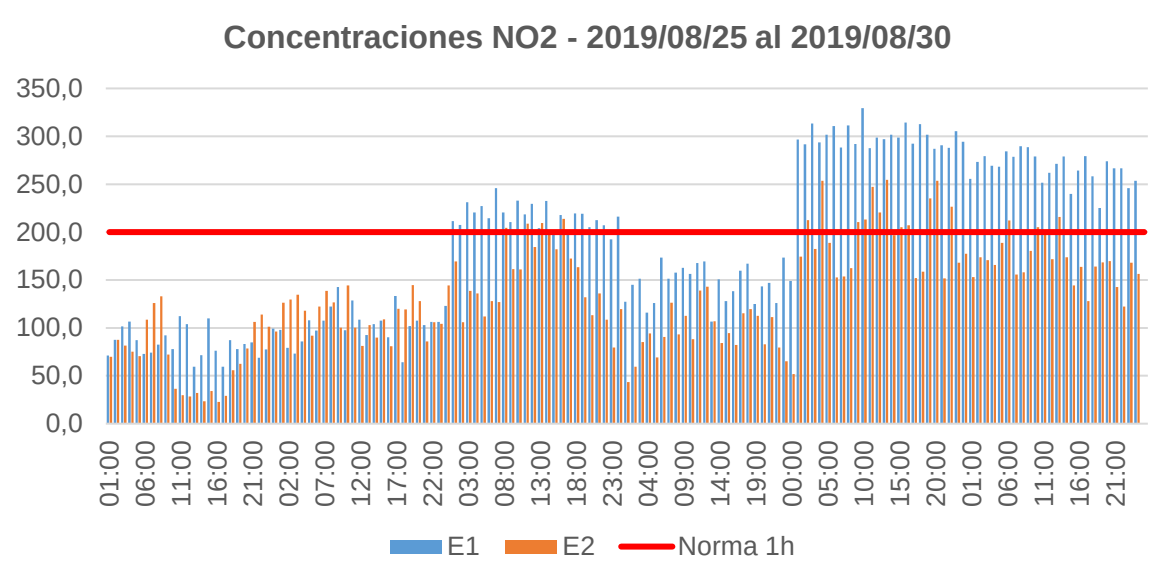



**Figura 5-17 Registro hora a hora $NO_2$ 2019-08-25 -2019-08-30**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

Los valores horarios obtenidos de $NO_2$ se encuentran en concentraciones superiores a 200µg/m$^3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición horaria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 29 de agosto con una concentración de 329,2 µg/m$^3$ para la estación 1 y 254,5 µg/m$^3$ para la estación 2, en este mismo día, lo cual se puede atribuir al alto flujo vehicular en las vías en la zona y las chimeneas industriales ubicadas en el área de influencia.

### 5.2.4 DIÓXIDOS DE AZUFRE $SO_2$

Los principales valores obtenidos según la medición realizada de $SO_2$ se resumen de la Tabla 5-7 a la Tabla 5-8:

**Tabla 5-7. Resultado de concentraciones y estadísticas de $SO_2$ Estación 1: Papa a la lata**

| Fecha | $SO_2$ (µg/m$^3$) | Operación | Símbolo | Resultado |
|---|---|---|---|---|
| 2019-08-13 | 0,64 | | | |
| 2019-08-14 | 1,88 | Numero de datos | n | 18 |
| 2019-08-15 | 0,63 | **Promedio Aritmético** | **X1** | **1,64** |
| 2019-08-16 | 3,11 | Mediana | m | 1,26 |
| 2019-08-17 | 0,65 | Coeficiente de Variación | Cv | 71% |
| 2019-08-18 | 0,65 | Desviación estándar | S | 1,16 |
| 2019-08-19 | 1,85 | Intervalo de confianza | µ (10%) | 0,61 |
| 2019-08-20 | 2,49 | Intervalo de confianza | µ1 (5%) | 1,03 |
| 2019-08-21 | 2,50 | Intervalo de confianza | µ2 (2.5%) | 19,16 |
| 2019-08-22 | 0,65 | Percentil 25 | 25% | 0,65 |
| 2019-08-23 | 0,65 | Percentil 75 | 75% | 2,50 |
| 2019-08-24 | 0,66 | **Valor más alto registrado** | **Max** | **4,32** |
| 2019-08-25 | 1,92 | Día de registro | Date | 2019-08-27 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 2019-08-26 | 0,66 | Valor más bajo registrado | Min | 0,63 |
| 2019-08-27 | 4,32 | Día de registro | Date | 2019-08-15 |
| 2019-08-28 | 3,11 | Calificación respecto a la Norma diaria 50 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado (Res 2254/2017) | **CUMPLE** | |
| 2019-08-29 | 0,66 | | | |
| 2019-08-30 | 2,50 | | | |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

**Tabla 5-8. Resultado de concentraciones y estadísticas de $SO_2$ Estación 2: Edificio**

| Fecha | $SO_2$ (µg/m³) | Operación | Símbolo | Resultado |
|---|---|---|---|---|
| 2019-08-13 | 5,55 | | | |
| 2019-08-14 | 8,10 | Numero de datos | n | 18 |
| 2019-08-15 | 7,96 | **Promedio Aritmético** | **X1** | **8,13** |
| 2019-08-16 | 9,48 | Mediana | m | 8,03 |
| 2019-08-17 | 10,90 | Coeficiente de Variación | Cv | 20% |
| 2019-08-18 | 6,37 | Desviación estándar | S | 1,66 |
| 2019-08-19 | 7,50 | Intervalo de confianza | µ (10%) | 0,88 |
| 2019-08-20 | 7,53 | Intervalo de confianza | µ1 (5%) | 7,25 |
| 2019-08-21 | 6,22 | Intervalo de confianza | µ2 (2.5%) | 19,66 |
| 2019-08-22 | 6,89 | Percentil 25 | 25% | 6,72 |
| 2019-08-23 | 8,28 | Percentil 75 | 75% | 9,38 |
| 2019-08-24 | 9,40 | **Valor más alto registrado** | **Max** | **11,26** |
| 2019-08-25 | 9,35 | Día de registro | Date | 2019-08-26 |
| 2019-08-26 | 11,26 | Valor más bajo registrado | Min | 5,55 |
| 2019-08-27 | 9,26 | Día de registro | Date | 2019-08-13 |
| 2019-08-28 | 6,67 | Calificación respecto a la Norma diaria 50 (µg/m³) con respecto al valor máximo registrado (Res 2254/2017) | **CUMPLE** | |
| 2019-08-29 | 6,25 | | | |
| 2019-08-30 | 9,42 | | | |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

En la Figura 5-18 se presentan los datos individuales por día de $SO_2$ obtenidos en cada una de las estaciones y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254/2017 del MADS, para exposición diaria (50 µg/m³).

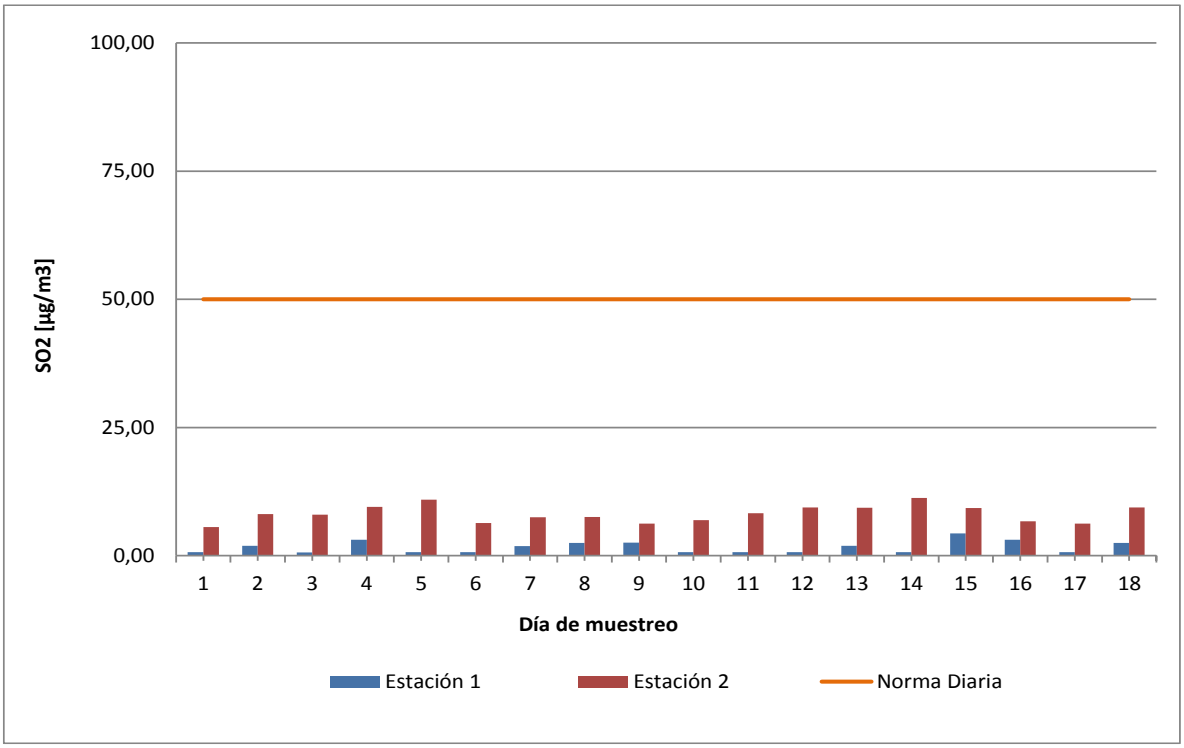
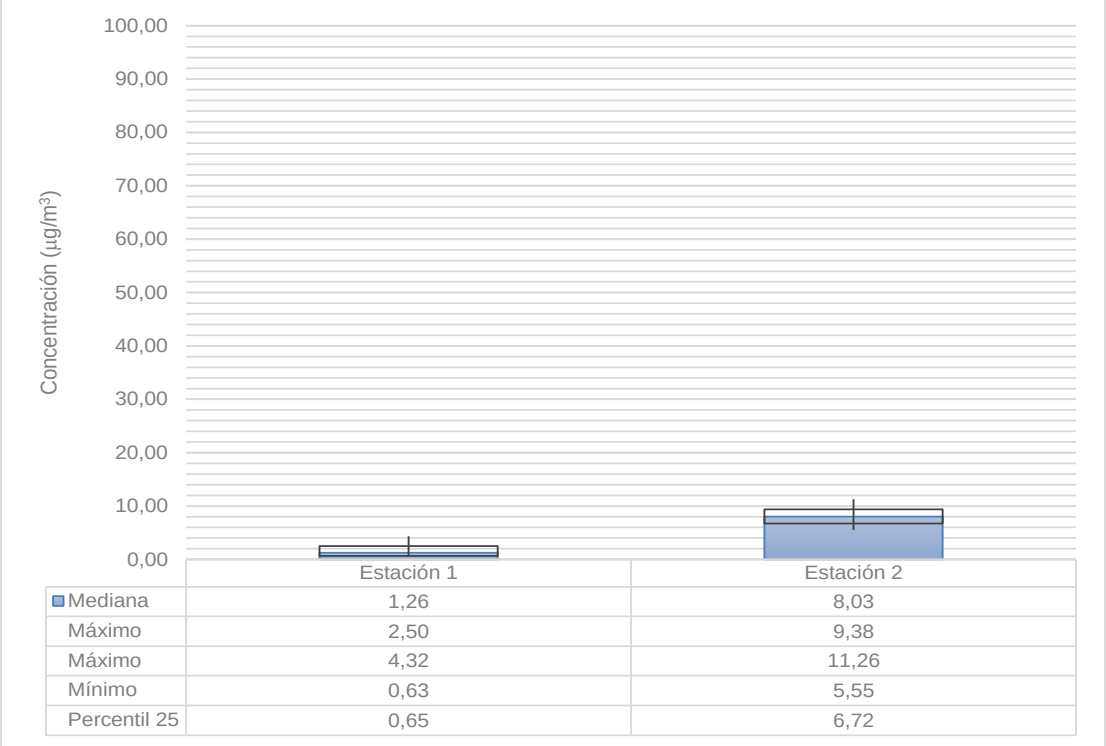



**Figura 5-18. Datos de calidad del aire para $SO_2$**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

En general los valores obtenidos de $SO_2$ en la estación de monitoreo se encuentran en concentraciones inferiores al estándar máximo permisible dado por la normatividad ambiental vigente, siendo para un tiempo de exposición de 24 horas. Se podría asegurar que en lo que refiere a este contaminante no se sobrepasara en ninguna época del año el límite fijado por la norma.

En la Figura 5-19 se presenta el diagrama de cajas y bigotes para la concentración de $SO_2$ para las dos estaciones de monitoreo, comparado de forma indicativa con la norma de exposición diaria según se indica en el protocolo de monitoreo y seguimiento de la calidad de aire en la sección 9.3.2.12.




| | Estación 1 | Estación 2 |
|---|---|---|
| Mediana | 1,26 | 8,03 |
| Máximo | 2,50 | 9,38 |
| Máximo | 4,32 | 11,26 |
| Mínimo | 0,63 | 5,55 |
| Percentil 25 | 0,65 | 6,72 |

**Figura 5-19. Diagrama de cajas para $SO_2$**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

La figura muestra que el valor máximo presentado en el estudio fue 11,26 µg/m$^3$ y la desviación en 2 µg/m$^3$ mostrando que los resultados día a día mantuvieron una baja variación; los resultados obtenidos en la estación de monitoreo no representan afectación sobre la calidad del aire del sector en lo que a este contaminante respecta.

### 5.2.5 MONÓXIDO DE CARBONO (CO)

En la Figura 5-20, Figura 5-21 y Figura 5-22, se presentan los datos individuales horarios de CO y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254 de 2017 del MAVDT, para tiempos de exposición horaria (35000µg/m$^3$).

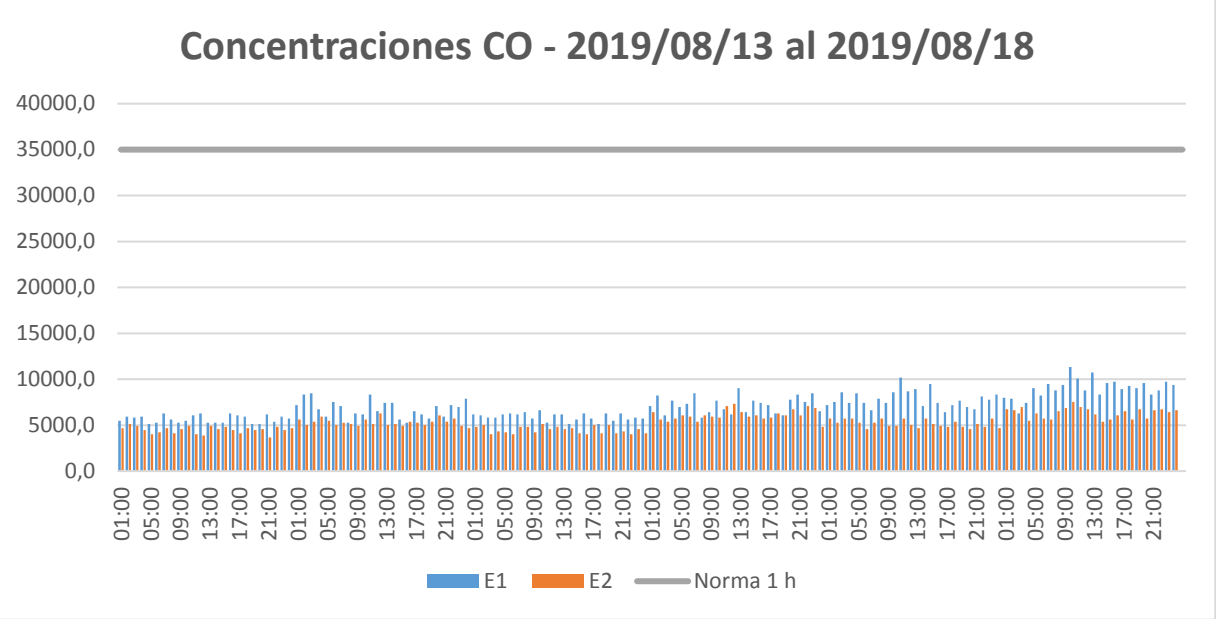



**Figura 5-20 Registro hora a hora CO 2019-08-13 -2019-08-18**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

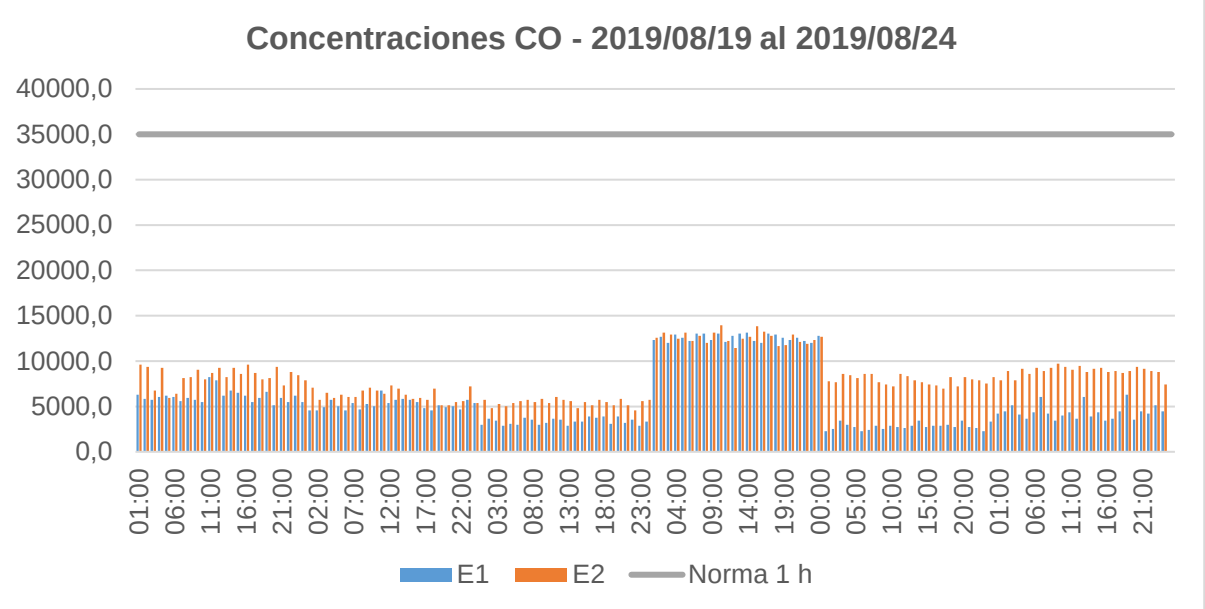



**Figura 5-21 Registro hora a hora CO 2019-08-19 -2019-08-24**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

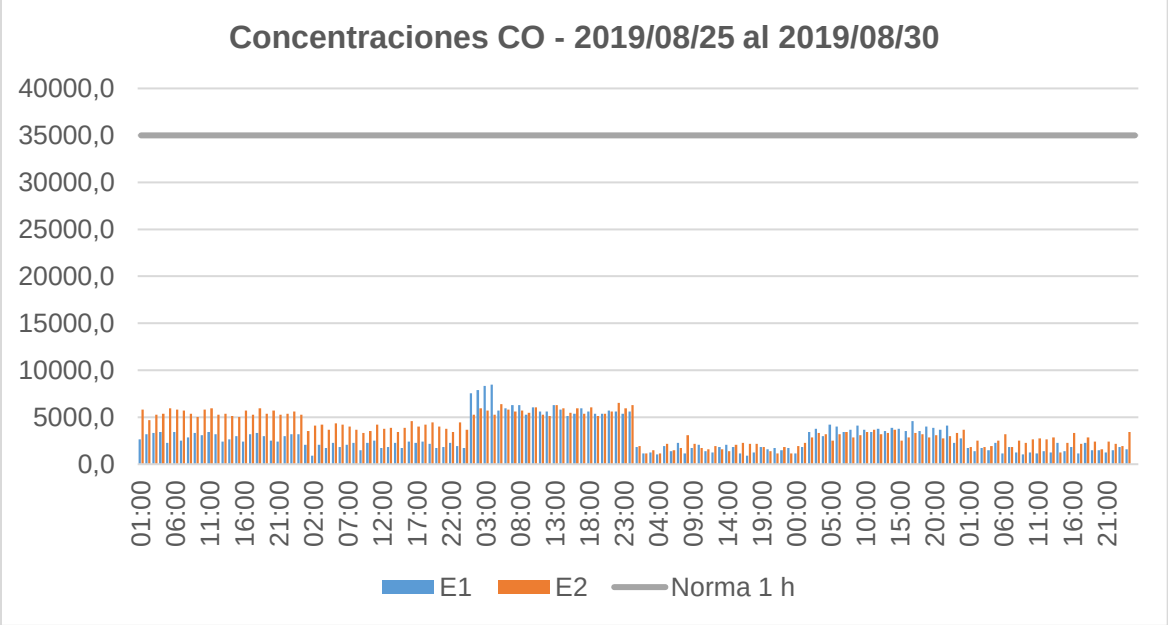



**Figura 5-22 Registro hora a hora CO 2019-08-25 -2019-08-30**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

En general, los valores horarios obtenidos de CO se encuentran en concentraciones inferiores a 35000µg/m$^3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición horaria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 22 de agosto con una concentración de 13942,9 µg/m$^3$, lo que hace demostrar que las emisiones producidas por el paso de vehículos y actividades propias de la zona no representan riesgo a la salud de ninguno de los expuestos.

En la Figura 5-23, se presentan los datos individuales octohorarios de CO y su comparación frente a los valores establecidos en la normatividad, Resolución 2254 de 2017 del MAVDT, para tiempos de exposición horaria (5000µg/m$^3$).

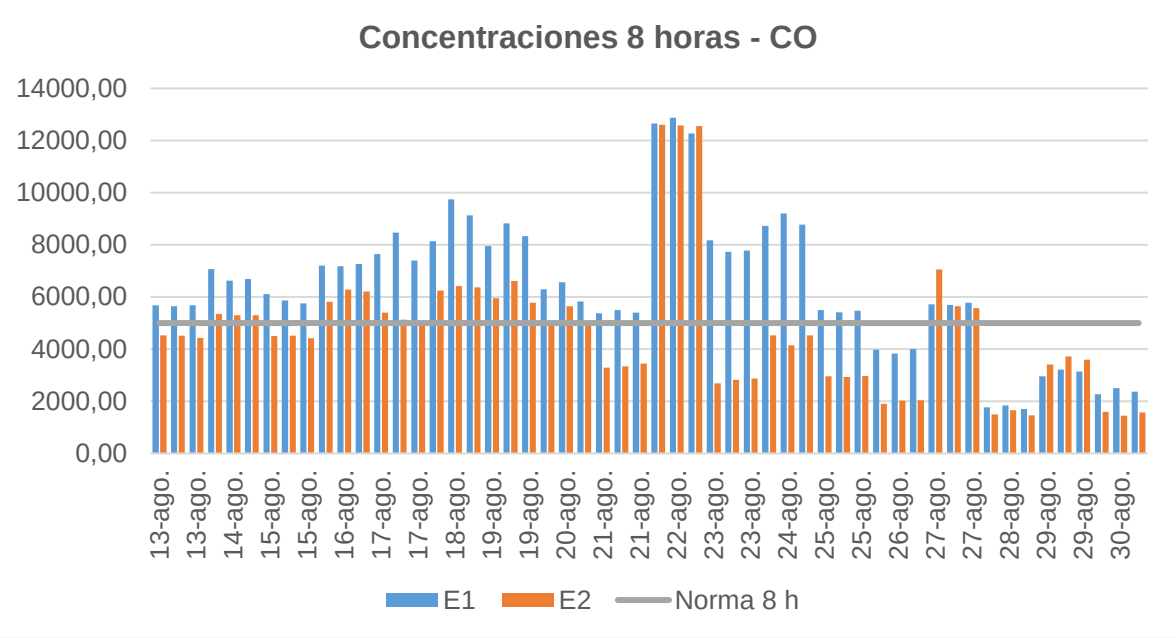



**Figura 5-23 Registro Octohorario CO**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

Los valores octohorarios obtenidos de CO se encuentran en concentraciones superiores a 5000µg/m$^3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición Octohoraria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 22 de agosto con una concentración de 12871,43 µg/m$^3$ para la estación 1y 12600 µg/m$^3$ para la estación 2, en este mismo día, lo cual se puede atribuir al alto flujo vehicular en las vías en la zona y las chimeneas industriales ubicadas en el área de influencia.

### 5.2.6 OZONO ($O_3$)

Los monitoreos realizados de Ozono ($O_3$) en cada uno de los puntos localizados en el área de influencia, presentaron concentraciones que si se comparan con los límites permisibles establecidos por la Resolución 2254 de 2017 por el MADS para un tiempo de exposición de ocho horas (100 µg/m$^3$) se puede inferir que las actividades que se desarrollan en cada una de las áreas cercanas a los puntos de monitoreo no afectan negativamente en la calidad del aire en lo que a este contaminante respecta.

En la Figura 5-24 se presentan los resultados obtenidos en $O_3$ mediante el desarrollo de mediciones para un tiempo de exposición de 8 horas donde se fija un límite permisible de (100 µg/m$^3$).

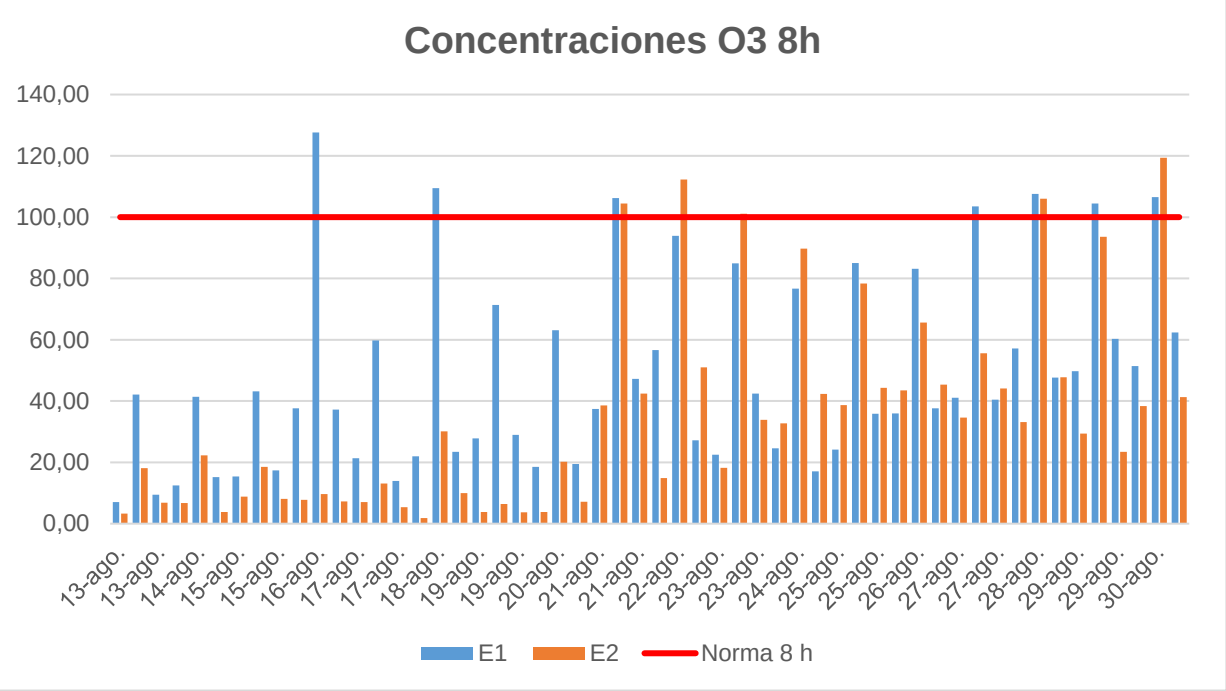



**Figura 5-24 Registro día a día $O_3$ respecto a la norma octohoraria**
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

Los valores octohorarios obtenidos de $O_3$ se encuentran en concentraciones superiores a 100µg/m$^3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición Octohoraria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 16 de agosto con una concentración de 127,59 µg/m$^3$ para la estación 1 y 119,36 µg/m$^3$ para la estación 2, en este mismo día.

### 5.2.7 CONSOLIDADO RESULTADOS CONTAMINANTES $PM_{10}$, $PM_{2,5}$, $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$

En la Tabla 5-9 se presentan los valores de las concentraciones promedio de los contaminantes evaluados a condiciones de referencia durante los días del 13 de agosto al 30 de agosto de 2019, comparados con el valor máximo permisible en la norma actual vigente para calidad del aire.

**Tabla 5-9. Comparación de resultados concentración Parámetros Evaluados respecto al límite máximo permisible según tiempos de exposición**

| *MONITOREO Y ANÁLISIS DE CALIDAD DE AIRE DEL PROYECTO "CONSTRUCCIÓN DE LA SUBESTACIÓN TERMINAL Y LÍNEAS ASOCIADAS A 115 kV "* | *Concentración Promedio Período* | | | | *Cc Máxima* | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | *$PM_{10}$ ($\mu g/m^3$)* | *$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)* | *$NO_2$ ($\mu g/m^3$)* | *$SO_2$ ($\mu g/m^3$)* | *CO ($\mu g/m^3$)* | *$O_3$ ($\mu g/m^3$)* |
| Estación 1: Papa a la lata | 70,87 | 28,74 | 30,94 | 1,64 | 8369,35 | 64,76 |
| Estación 2: Edificio | 53,32 | 23,35 | 38,57 | 8,13 | 6149,70 | 46,33 |
| **Norma Diaria (Res-MADS2254/2017)** | **75** | **37** | **-** | **50** | **-** | **-** |
| **Norma Anual (Res-MADS-2254/2017)** | **50** | **25** | **-** | **-** | **-** | **-** |
| **0Norma Horaria (Res-MADS-2254/2017)** | **-** | **-** | **200** | **-** | **350000** | **-** |
| **Norma Octahoraria (Res-MADS-2254/2017)** | **-** | **-** | **-** | **-** | **-** | **100** |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

## 5.3 ÍNDICE DE CALIDAD DEL AIRE

De acuerdo con las concentraciones obtenidas en la presente campaña de monitoreo por cada parámetro y por cada estación, se calculan los índices de calidad del aire, que permiten establecer cómo se encuentra la línea base de calidad del aire del área de influencia, con respecto a la normatividad actual vigente llevadas a las condiciones atmosféricas de referencia.

En el numeral 3.1.1.2 presente de este informe se presenta la metodología para la determinación del ICA. En la Tabla 5-10 y Tabla 5-11, se caracterizan los ICA de cada parámetro y se selecciona el mayor valor ICA que pueda generar una mayor incidencia en los grupos sensibles y población influenciada. Para el análisis de los ICA de los gases analizados $NO_2$ y $SO_2$, la tabla No 06 de la Resolución 2254 de 2017 del MADS, no contempla puntos de corte para concentraciones en $\mu g/m^3$ para tiempos de exposición de 24 horas.

**Tabla 5-10 Índices de Calidad del Aire en estación 1**

| | *Estación 1 – Papa a la Lata* | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *Fecha* | *ICA - $PM_{10}$* | *ICA – $PM_{2.5}$* | *ICA - $NO_2$* | *ICA – $O_3$* | *ICA - DÍA* | *Parámetro* |
| 2019-08-13 | 34,02 | 65,18 | 0,01 | 12,53 | 65,18 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-14 | 60,92 | 77,26 | 0,01 | 14,26 | 77,26 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-15 | 69,84 | 99,26 | 0,01 | 15,68 | 99,26 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-16 | 53,60 | 69,36 | 0,01 | 41,46 | 69,36 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-17 | 13,43 | 29,57 | 0,01 | 19,55 | 29,57 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-18 | 16,64 | 29,78 | 0,01 | 32,21 | 32,21 | Ozono |
| 2019-08-19 | 54,48 | 80,35 | 0,01 | 26,46 | 80,35 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-20 | 39,43 | 67,40 | 0,01 | 20,95 | 67,40 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-21 | 51,57 | 118,39 | 14,86 | 39,82 | 118,39 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-22 | 75,18 | 117,44 | 19,20 | 36,83 | 117,44 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-23 | 71,48 | 85,67 | 8,16 | 30,97 | 85,67 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-24 | 52,65 | 80,17 | 33,20 | 24,42 | 80,17 | $PM_{2.5}$ |

| | Estación 1 – Papa a la Lata | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fecha | ICA - $PM_{10}$ | ICA – $PM_{2.5}$ | ICA - $NO_2$ | ICA – $O_3$ | ICA - DÍA | Parámetro |
| 2019-08-25 | 56,68 | 91,41 | 15,14 | 30,19 | 91,41 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-26 | 75,59 | 109,78 | 21,65 | 32,40 | 109,78 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-27 | 62,74 | 76,17 | 38,93 | 38,54 | 76,17 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-28 | 65,02 | 83,66 | 26,07 | 43,75 | 83,66 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-29 | 86,15 | 113,44 | 54,87 | 44,32 | 113,44 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-30 | 77,94 | 90,85 | 47,61 | 45,52 | 90,85 | $PM_{2.5}$ |

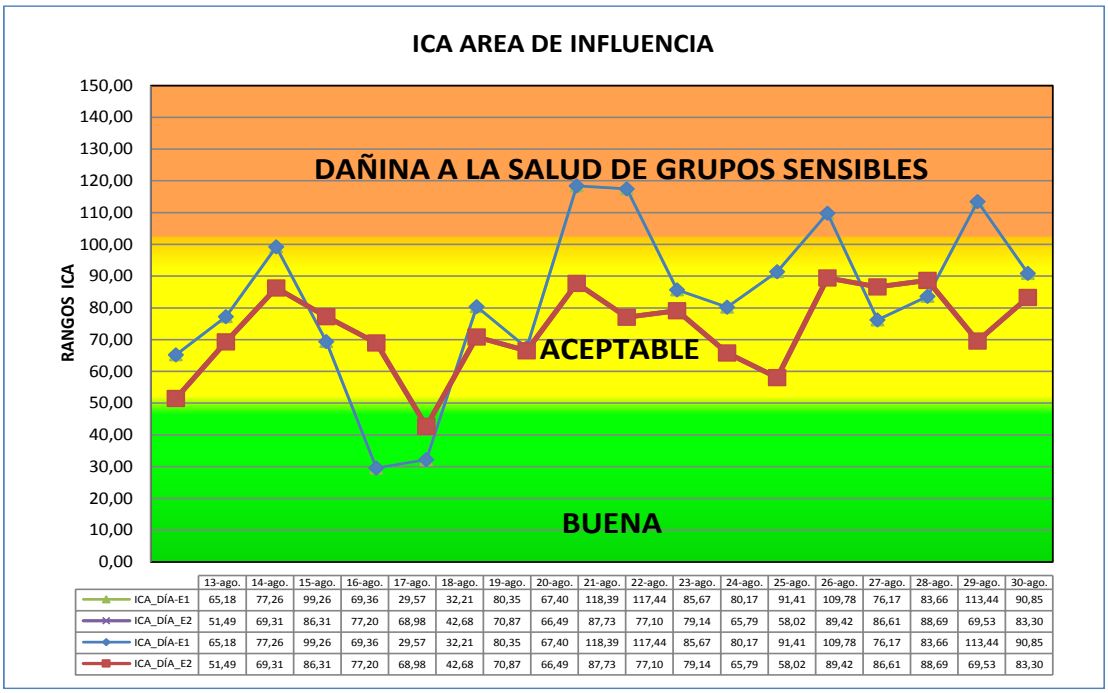
Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

**Tabla 5-11 Índices de Calidad del Aire en estación 2**

| | Estación 2- Edificio | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Fecha | ICA - $PM_{10}$ | ICA – $PM_{2.5}$ | ICA - $NO_2$ | ICA – $O_3$ | ICA - DÍA | Parámetro |
| 2019-08-13 | 25,14 | 51,49 | 0,01 | 5,99 | 51,49 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-14 | 51,46 | 69,31 | 0,01 | 6,75 | 69,31 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-15 | 66,73 | 86,31 | 0,01 | 7,32 | 86,31 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-16 | 53,82 | 77,20 | 0,01 | 5,12 | 77,20 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-17 | 52,50 | 68,98 | 0,01 | 5,14 | 68,98 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-18 | 18,97 | 42,68 | 0,01 | 8,72 | 42,68 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-19 | 51,43 | 70,87 | 0,01 | 2,94 | 70,87 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-20 | 41,16 | 66,49 | 0,01 | 6,44 | 66,49 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-21 | 58,65 | 87,73 | 10,06 | 38,58 | 87,73 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-22 | 58,73 | 77,10 | 53,66 | 36,93 | 77,10 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-23 | 38,16 | 79,14 | 13,77 | 31,77 | 79,14 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-24 | 28,58 | 65,79 | 2,26 | 34,05 | 65,79 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-25 | 35,84 | 58,02 | 23,50 | 33,40 | 58,02 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-26 | 61,61 | 89,42 | 38,61 | 32,16 | 89,42 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-27 | 37,50 | 86,61 | 52,54 | 27,83 | 86,61 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-28 | 63,60 | 88,69 | 31,52 | 38,70 | 88,69 | $PM_{2.5}$ |
| 2019-08-29 | 40,47 | 64,56 | 69,53 | 30,37 | 69,53 | $NO_2$ |
| 2019-08-30 | 56,43 | 83,30 | 58,35 | 41,20 | 83,30 | $PM_{2.5}$ |

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019

En la Figura 5-25, se representan los ICA mediante escala de colores:




| | 13-ago. | 14-ago. | 15-ago. | 16-ago. | 17-ago. | 18-ago. | 19-ago. | 20-ago. | 21-ago. | 22-ago. | 23-ago. | 24-ago. | 25-ago. | 26-ago. | 27-ago. | 28-ago. | 29-ago. | 30-ago. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ICA_DÍA-E1 | 65,18 | 77,26 | 99,26 | 69,36 | 29,57 | 32,21 | 80,35 | 67,40 | 118,39 | 117,44 | 85,67 | 80,17 | 91,41 | 109,78 | 76,17 | 83,66 | 113,44 | 90,85 |
| ICA_DÍA_E2 | 51,49 | 69,31 | 86,31 | 77,20 | 68,98 | 42,68 | 70,87 | 66,49 | 87,73 | 77,10 | 79,14 | 65,79 | 58,02 | 89,42 | 86,61 | 88,69 | 69,53 | 83,30 |
| ICA_DÍA-E1 | 65,18 | 77,26 | 99,26 | 69,36 | 29,57 | 32,21 | 80,35 | 67,40 | 118,39 | 117,44 | 85,67 | 80,17 | 91,41 | 109,78 | 76,17 | 83,66 | 113,44 | 90,85 |
| ICA_DÍA_E2 | 51,49 | 69,31 | 86,31 | 77,20 | 68,98 | 42,68 | 70,87 | 66,49 | 87,73 | 77,10 | 79,14 | 65,79 | 58,02 | 89,42 | 86,61 | 88,69 | 69,53 | 83,30 |

**Figura 5-25. Índices de Calidad del Aire area de influencia**

Fuente: SIAM Ingeniería, 2019.

Las concentraciones reportadas son la base fundamental para el cálculo de los Índices de Calidad del Aire, de modo que el comportamiento presentado en los resultados analíticos de los niveles de $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ y $NO_2$, es equivalente a los representados por los ICA.

Los ICA para los parámetros $PM_{2.5}$, $PM_{10}$, $NO_2$ y $O_3$ presentan en 3 días un estado de BUENA calidad del aire, 29 días como calidad del aire ACEPTABLE y 4 días como calidad del aire DAÑINA PARA LA SALUD DE GRUPOS SENSIBLES, demostrándose que el área evaluada presenta un riesgo moderado y podría presentar afectación en el estado de salud hacia personal expuesto y población del área de influencia.

# 6 OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

El presente estudio determinó los niveles de inmisión de la calidad del aire en el marco del licenciamiento ambiental del Proyecto "Construcción de la Subestación Terminal y Líneas asociadas a 115 kV" de propiedad de Codensa S.A ESP, mediante la medición y determinación de las concentraciones de los contaminantes: $PM_{10}$ (Material particulado inhalable), $PM_{2.5}$ (Material particulado inhalable fino), $NO_2$ (Óxidos de nitrógeno), $SO_2$ (Dióxido de azufre), CO (Monóxido de Carbono) y $O_3$ (Ozono), durante un periodo seco de 18 días comprendido entre el 13 de agosto y el 30 de agosto de 2019.

## GENERALIDADES

Las estaciones de monitoreo de calidad de aire se instalaron aplicando los criterios de ubicación fijados en el Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire del antiguo MAVDT ahora llamado Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (MADS) y siguiendo las directrices suministradas por la firma contratante Compañía Nacional de Estudios Ambientales S.A.S.

## METEOROLOGÍA

Durante el periodo de medición (13 de agosto al 30 de agosto de 2019.), la temperatura promedio fue de 14,03°C, la humedad relativa fue de 65,77%, la velocidad del viento promedio fue de 3,30 m/s, presentó una dirección que proviene predominantemente desde el ESTE (E) y el viento alcanzó los 10,5 m/s, clasificándose como F-5 Fresquito (Brisa fresca), donde según la escala de Beaufort, Pequeños movimientos de los árboles, superficies de los lagos ondulados.

## MEDICIÓN DE PARÁMETROS: $PM_{10}$, $PM_{2.5}$, $NO_2$, $SO_2$, CO y $O_3$

La máxima concentración diaria de $PM_{10}$ con un valor de 125,74 µg/m$^3$ se presentó el día 29de agosto de 2019 en la estación Papa a la lata, dicho valor no cumple con el límite máximo permisible establecido en la Resolución 2254 de 2017 del MADS para un tiempo de exposición de 24 horas de 75 µg/m$^3$; también el promedio aritmético de concentración de $PM_{10}$ más alto fue de 53,32 µg/m$^3$ en la misma estación, este comparado indicativamente con la norma anual no cumple con el límite máximo permisible de 50 µg/m$^3$.

La máxima concentración diaria de $PM_{2.5}$ se presentó el día 21 de agosto, con un valor de 46,38 µg/m$^3$ en la estación 1: Papa a la lata no cumple con el límite máximo permisible establecido en la Resolución 2254 de 2017 del MADS para un tiempo de exposición de 24 horas con un valor de 37 µg/m$^{3,}$ por otra parte, el máximo promedio aritmético de las

concentraciones de $PM_{2.5}$ durante los 18 días, 28,74 µg/$m^3$, comparado indicativamente con la norma anual no cumple con el límite máximo permisible de 25 µg/$m^3$.

La concentración de $NO_2$ en 24 horas presentó un máximo de 133,66 µg/$m^3$ el día 29 de agosto de 2019. Por su parte, para las condiciones horarias obtenidas, las concentraciones son superiores a 200µg/$m_3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición horaria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 29 de agosto con una concentración de 329,2 µg/$m_3$ para la estación 1 y 254,5 µg/$m_3$ para la estación 2, en este mismo día, lo cual se puede atribuir al alto flujo vehicular en las vías en la zona y las chimeneas industriales ubicadas en el área de influencia.

La concentración de $SO_2$ alcanzó un máximo de 11,26 µg/$m^3$ el día 26 de agosto de 2019, valor inferior a la norma diaria para $SO_2$ de 50 µg/$m^3$ establecida por la Resolución 2254 del 2017 del ahora MADS.

Los valores horarios obtenidos de CO se encuentran en concentraciones inferiores a 35000µg/$m_3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición horaria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 22 de agosto con una concentración de 13942,9 µg/$m_3$, lo que hace demostrar que las emisiones producidas por el paso de vehículos y actividades propias de la zona no representan riesgo a la salud de ninguno de los expuestos.
Los valores octohorarios obtenidos de CO se encuentran en concentraciones superiores a 5000µg/$m_3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición Octohoraria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 22 de agosto con una concentración de 12871,43 µg/$m_3$ para la estación 1y 12600 µg/$m_3$ para la estación 2, en este mismo día, lo cual se puede atribuir al alto flujo vehicular en las vías en la zona y las chimeneas industriales ubicadas en el área de influencia.

Los valores octohorarios obtenidos de $O_3$ se encuentran en concentraciones superiores a 100µg/$m_3$, límite máximo estipulado por la normatividad ambiental vigente para un tiempo de exposición Octohoraria; dentro del análisis estadístico se puede observar que la concentración más alta registrada fue el día 16 de agosto con una concentración de 127,59 µg/$m_3$ para la estación 1 y 119,36 µg/$m_3$ para la estación 2, en este mismo día.
Los índices de la calidad del aire (ICA) de acuerdo con lo establecido en la tabla No. 06 de la Resolución 2254 de 2017 del MADS, para las partículas respirables expresadas como $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ y $NO_2$ que reportaron la mayoría del tiempo índices descritos como "ACEPTABLE". Según estos valores reportados, la contaminación atmosférica supone un riesgo moderado para la salud de las personas y en un bajo porcentaje es posible esperar valores de concentración que produzcan síntomas respiratorios en pobladores sensibles.

# 7 REFERENCIAS

Ambiente, S. D. (2008). *Informe de Calidad de Aire.*

*http://www.cepis.ops-oms.org*. (s.f.).

ITESM-MADS. (2008). *Guía Nacional de Modelación de Calidad del Aire, 2nd Versión.* Bogotá D.C.

Kulmala, M. (2001). *On the formation, growth and composition of nucleation mode particles.*

Meszaros, E. (1999). *Fundamentals of atmospheric aerosol chemistry.* Budapest: Akadémiai Kiadó.

Santander, O. d. (2010). *Revista del Observatorio de Salud Pública de Santander - Año 5*.

Seinfield, J. P. (2006). *Atmospheric Chemistry and Physics.* John Wiley and Sons.

Swisscontact. (s.f.). *Curso de Calidad del Aire*. Centroamérica .

Swisscontact. (s.f.). *Curso de Calidad del aire* . Centroamérica.

ULEAM. (1987).

Wang, R. (2010). *La función dual del sulfuro de Hidrógeno.* Investigación y Ciencia.

Wang, R. (2010). *La función dual del sulfuro de Hidrógeno.*

Warneck, P. (1988). *Chemistry of the natural atmosphere.* Academic Press.

Manual de Control de la Calidad del Aire. E. Roberts Alley Associates, Inc. Mc Graw Hill.

Resolución 2254 de 2017. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. República de Colombia.

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. En: http://www.epa.gov.

Código Federal de Regulaciones de la Oficina de Imprenta de los Estados Unidos. En: http://edocket.access.gpo.gov/.

Manual de Diseño de Sistemas para la Vigilancia de la Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – K2 Ingeniería.

Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – K2 Ingeniería.

Manual para la Elaboración de Planes de Gestión de la Calidad del Aire. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – K2 Ingeniería.

Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire. Manual de operación de sistemas de vigilancia de la calidad del aire. Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, República de Colombia. Noviembre 2010. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co//documentos/normativa/ambiente/resolucion/res_2154_021110_manual_operacio.pdf

# ANEXO 1 REGISTRO FOTOGRÁFICO

***REGISTRO FOTOGRÁFICO – ESTACIÓN 1***

**CALIBRACIÓN $PM_{10}$**

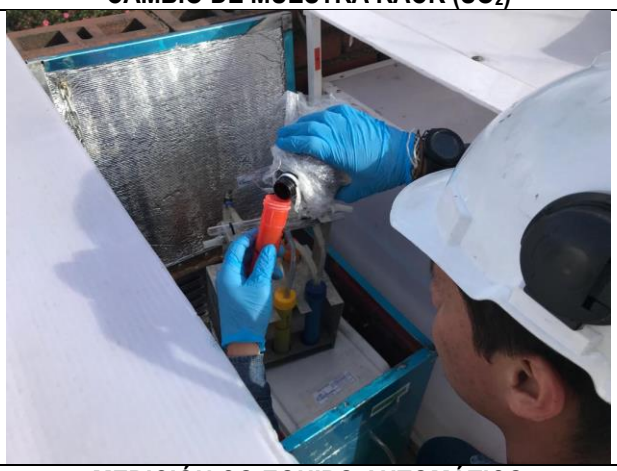
**CAMBIO DE MUESTRAS $PM_{10}$**

**CALIBRACIÓN $PM_{2.5}$**

**CAMBIO DE MUESTRAS $PM_{2.5}$**

**CALIBRACION RACK ($SO_2$)**

**CAMBIO DE MUESTRA RACK ($SO_2$)**



**MEDICIÓN $NO_2$ CON EQUIPO AUTOMÁTICO**

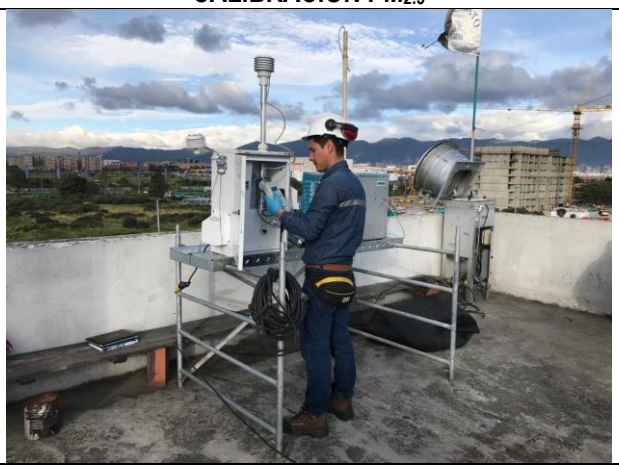
**MEDICIÓN CO EQUIPO AUTOMÁTICO**

MEDICION $O_3$ EQUIPO AUTOMATICO

PANORÁMICA ESTACIÓN DE MONITOREO

PANORAMICA ESTACIÓN DE MONITOREO

GEORREFERENCIACIÓN

| ***REGISTRO FOTOGRÁFICO – ESTACIÓN 2*** | |
|---|---|
| **CALIBRACIÓN $PM_{10}$** | **CAMBIO DE MUESTRAS $PM_{10}$** |
| | |
| **CALIBRACIÓN $PM_{2.5}$** | **CAMBIO DE MUESTRAS $PM_{2.5}$** |
|  | |
| **CALIBRACION RACK ($SO_2$)** | **CAMBIO DE MUESTRA RACK ($SO_2$)** |
| | |
| **MEDICIÓN $NO_2$ CON EQUIPO AUTOMÁTICO** | **MEDICIÓN CO EQUIPO AUTOMÁTICO** |

**MEDICION $O_3$ EQUIPO AUTOMATICO**

**PANORAMICA ESTACIÓN DE MONITOREO**

**PANORAMICA ESTACIÓN DE MONITOREO**

**GEORREFERENCIACIÓN**

# ANEXO 2 FORMATOS DE CAMPO

# ANEXO 3 CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN

# ANEXO 4 RESOLUCIÓN ACREDITACIÓN

# ANEXO 5 REPORTE DE LABORATORIO

# ANEXO 6 MARCO TEÓRICO

# MARCO TEÓRICO

El aire que respiramos está formado por muchos componentes químicos. Los componentes primarios del aire son el nitrógeno ($N_2$), oxígeno ($O_2$) y vapor de agua ($H_2O$). En el aire también se encuentran pequeñas cantidades de muchas otras sustancias, incluidas el dióxido de carbono, argón, neón, helio, hidrógeno y metano. Las actividades humanas han tenido un efecto perjudicial en la composición del aire. La quema de combustibles fósiles y otras actividades industriales han cambiado su composición debido a la introducción de contaminantes, incluidos el dióxido de azufre ($SO_2$), monóxido de carbono (CO), Ozono ($O_3$), dióxidos de nitrógeno ($NO_2$), hidrocarburos totales (HCT) y partículas sólidas y líquidas conocidas como material particulado (TSP y $PM_{10}$). Aunque todos estos contaminantes pueden ser generados por fuentes naturales, o actividades humanas (antropogénicas) han aumentado significativamente su presencia en el aire que respiramos (http://www.cepis.ops-oms.org). Lo anteriormente expuesto se resume en la Figura 7-1.

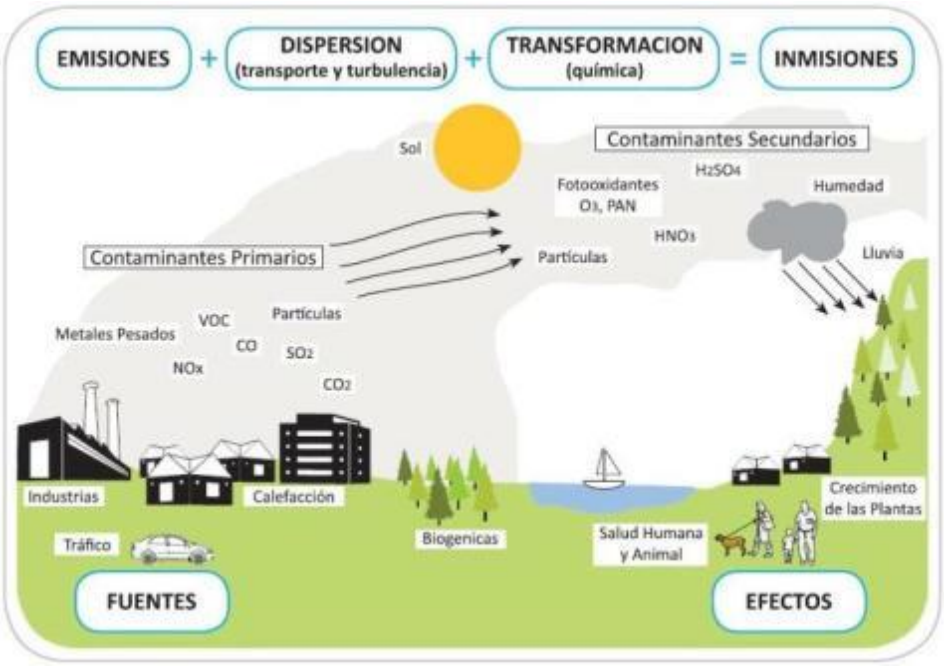



**Figura 7-1 Diagrama comportamiento de los contaminantes**

Fuente: Grupo de Estudios en Sostenibilidad Urbana y Regional, (SUR) Universidad de los Andes. Año 2008

En ese sentido, se puede definir la Contaminación del Aire como la presencia de sustancias o formas de energía que alteran la calidad de este e implica riesgo, daño o molestia grave a los seres vivientes y bienes en general. Los contaminantes se presentan en la atmósfera en forma de partículas y gases. El Material Particulado está compuesto por pequeñas partículas líquidas o sólidas de polvo, humo, niebla y ceniza volante. Los gases incluyen sustancias como el monóxido de carbono, dióxido de azufre y compuestos orgánicos volátiles. Los contaminantes pueden clasificarse en primarios o secundarios. Un

contaminante primario es aquél que se emite a la atmósfera directamente de la fuente y mantiene la misma forma química, como, por ejemplo, la ceniza de la quema de residuos sólidos. Un contaminante secundario es aquel que experimenta un cambio químico cuando llega a la atmósfera. Un ejemplo es el ozono que surge de los vapores orgánicos y óxidos de nitrógeno que emite una estación de gasolina o el escape de los automóviles. Los vapores orgánicos reaccionan con los óxidos de nitrógeno en presencia de luz solar y producen el ozono, componente primario del smog foto químico. (ULEAM, 1987)

Los contaminantes de aire también se han clasificado como contaminantes criterio y contaminantes no criterio. Los contaminantes criterios se han identificado como comunes y perjudiciales para la salud y el bienestar de los seres humanos. Se les llamó contaminantes criterio porque fueron objetos de estudios de evaluación publicados en documentos de criterios de calidad del aire. En el nivel internacional los contaminantes criterios son:

- Monóxido de carbono (CO)
- Ozono ($O_3$)
- Óxidos de azufre expresados como $SO_2$
- Óxidos de nitrógeno expresados como $NO_2$
- Material particulado ($PM_{10}$)

## CONTAMINANTES EVALUADOS

A continuación, se presenta una breve descripción de los contaminantes evaluados en este estudio:

### Material particulado atmosférico2

El material particulado atmosférico se define como un conjunto de partículas sólidas y/o líquidas (a excepción del agua pura) presentes en suspensión en la atmósfera **(Meszaros, 1999)**. Generalmente, el término *aerosol atmosférico* se utiliza como sinónimo de partículas atmosféricas, aunque esta definición no es estricta. Es necesario considerar que el término material particulado atmosférico es un concepto amplio que engloba tanto las partículas en suspensión como las partículas sedimentables (diámetro > 20 µm), caracterizadas por un corto tiempo de residencia en la atmósfera (varias horas).

Las partículas atmosféricas pueden ser emitidas por una gran variedad de fuentes de origen natural o antropogénico. Respecto a los mecanismos de formación, las partículas pueden ser emitidas como tales a la atmósfera (primarias) o bien ser generadas por reacciones químicas (partículas secundarias). Dichas reacciones químicas pueden consistir en la interacción entre gases precursores en la atmósfera para formar una nueva partícula por condensación, o entre un gas y una partícula atmosférica para dar lugar a un nuevo aerosol por adsorción o coagulación **(Warneck, 1988)**.

[2]http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1972/1Introduccion.pdf?sequence=2

Como resultado de esta variabilidad de fuentes y transformaciones, el material particulado atmosférico consiste en una mezcla compleja de compuestos de naturaleza orgánica e inorgánica con diferentes distribuciones granulométricas y composición química, ambas condicionadas por la composición de los gases que las rodean. Los niveles de material particulado atmosférico se suelen expresar en forma de concentración de masa o número de partículas por unidad de volumen de aire ($\mu g/m^3$ o $nm/cm^3$).

La contaminación atmosférica por material particulado se define como la alteración de la composición natural de la atmósfera como consecuencia de la entrada en suspensión de partículas, ya sea por causas naturales o por la acción del hombre **(Meszaros, 1999)**. La presencia de las partículas en la atmósfera, así como su posterior deposición, puede generar efectos tanto en el clima, en los ecosistemas, como en los seres vivos (Aitken, 1880; Dockery et al., 1993; Schwartz, 1994 y 1996; Dockery y Pope, 1996; Arimoto, 2001). Con objeto de minimizar el impacto ambiental y en la salud es necesario poner en funcionamiento estrategias de control y reducción de las emisiones de material particulado atmosférico, aunque para que éstas sean efectivas deben realizarse de forma paralela con la reducción de las emisiones de gases precursores.

**Tamaño de la partícula**

El diámetro de las partículas atmosféricas en suspensión varía desde nanómetros (nm) hasta decenas de micras (µm). Generalmente se identifican diferentes rangos de tamaños de partícula denominados "modas", que están relacionados en su mayoría con el mecanismo de formación de las partículas: nucleación, Aitken, acumulación y moda gruesa **(Warneck, 1988)**; EPA, 1996; Seinfeld y Pandis, 1998, Ver Figura 1-2). En general, la granulometría y la composición química del material particulado suelen ser características del foco emisor. La denominación de las partículas incluidas en determinados rangos granulométricos varía en función del ámbito de estudio, ya sea en ciencias atmosféricas o en epidemiología y calidad del aire. Así como se verá más adelante, se denomina "partículas finas" en ciencias atmosféricas a aquellas partículas de diámetro <1µm, mientras que en epidemiología esta definición abarca hasta las partículas de diámetro <2.5 µm. Consecuentemente, en estudios epidemiológicos se hace referencia a partículas gruesas a partir de 2.5 µm de diámetro, mientras que en ciencias de la atmósfera se consideran gruesas las partículas de diámetro >1 µm.

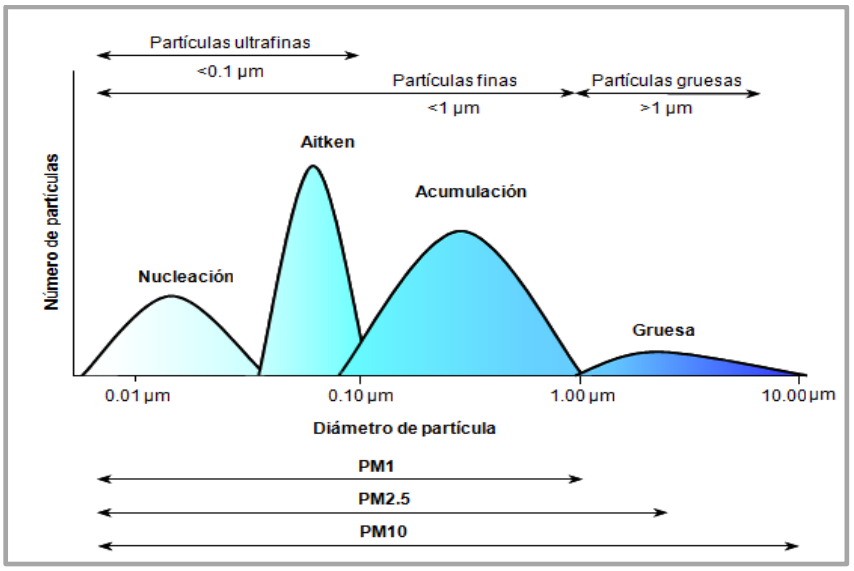



**Figura 7-2 Distribución del número de partículas en función del diámetro**
Fuente: Modificado de EPA, 1996

**Moda de nucleación (<0.02 µm):** la mayor concentración en número de partícula se encuentra entre 5-15 nm. Los únicos precursores gaseosos con capacidad para formar partículas por nucleación homogénea en aire ambiente son $H_2SO_4$ y $NH_3$. La vida media de estas partículas en la atmósfera es del orden de horas ya que coagulan rápidamente con otras partículas o incrementan de tamaño por condensación. En áreas de fondo se han observado incrementos de diámetro en la moda de nucleación de hasta varios nm/hora **(Kulmala, 2001)**. La teoría clásica de la nucleación define que ésta depende de la concentración del gas precursor, la humedad relativa y la temperatura. Concretamente, la nucleación se ve favorecida por descensos en la temperatura y/o incrementos en la humedad relativa (Eastern and Peter, 1994). Durante episodios de contaminación por la actividad del tráfico se detecta con frecuencia la presencia de partículas de esta moda, aunque actualmente se desconoce si son emitidas directamente como material particulado primario (por ejemplo, carbono elemental en motores diesel) por los vehículos o si se forman al entrar en contacto los gases de combustión con el aire ambiente (a menor temperatura).

**Moda Aitken (0.02-0.1 µm):** estas partículas pueden tener un origen primario (natural o antropogénico) o secundario (a partir de partículas de la moda de nucleación). Mucho se desconoce aún acerca de la composición química de estas partículas, aunque es muy probable que las de origen secundario se formen por procesos de coagulación a partir de la moda de nucleación, por condensación y/o por reacciones en fase líquida (con compuestos inorgánicos). La influencia de las emisiones antropogénicas en las partículas de la moda Aitken no está bien definida en la actualidad. Un ejemplo de un tipo de partícula que se acumula típicamente en esta moda es el carbono de origen primario (soot) con origen en procesos de combustión (mayoritariamente motores diesel). Estas

partículas de carbono suelen presentar diámetros de partícula de aproximadamente 100 nm (y generalmente >30 nm), pudiendo llegar a alcanzar 150- 200 nm (Matter et al., 1999).

El término "partículas ultrafinas" se utiliza en medicina para denominar partículas de <0.1 µm, que por tanto incluyen la moda de nucleación y la mayor parte de la moda Aitken. En algunas ocasiones este término se refiere únicamente a la moda de nucleación.

**Moda de acumulación (0.1-1 µm):** la mayor densidad de partículas se registra entre 150-250 nm. En la atmósfera, las partículas de la moda Aitken crecen hasta formar parte de la moda de acumulación por medio de reacciones en fase líquida que tienen lugar en gotas de agua en las nubes. La transferencia de masa es máxima en la nube a pesar del escaso tiempo de reacción, debido al elevado volumen de agua y la velocidad de reacción en las nubes. Aproximadamente el 90% del sulfato que se forma en la atmósfera es originado por la oxidación en fase líquida del dióxido de azufre en las nubes (Langner y Rodhe, 1992). El tiempo de residencia en la atmósfera es máximo para las partículas de esta moda.

**Moda gruesa (>1 µm en términos de aerosoles atmosféricos):** en términos de calidad del aire y epidemiología esta moda comprende las partículas de diámetro >2.5 µm. La mayor parte de las partículas en esta moda se forman por procesos mecánicos tales como la erosión de la superficie terrestre (materia mineral) o de otros materiales, o por la explosión de burbujas en la superficie de mares y océanos (aerosol marino). Tradicionalmente se ha considerado que el aerosol marino se encuentra en la moda gruesa, aunque recientemente Mårtensson et al. (2002) han demostrado que también se genera un elevado número de partículas de 20 nm. En masa, el predominio de las partículas gruesas es evidente. El crecimiento de las partículas de diámetro <1 µm no puede dar lugar a partículas de diámetro >1 µm. Por otra parte, los procesos mecánicos que generan las partículas primarias no pueden normalmente producir partículas de diámetro <1 µm debido a limitaciones energéticas. Consecuentemente, la transferencia de partículas entre diferentes modas se encuentra con un límite en torno a 1 µm. Las partículas <1 µm son denominadas partículas finas, mientras que aquellas de diámetro >1 µm son gruesas.

La moda gruesa se caracteriza por presentar un reducido número de partículas, pero una elevada masa. Aunque las partículas de origen primario dominan en esta moda, también es posible encontrar partículas de origen secundario. Estas partículas secundarias son formadas por reacciones químicas entre las partículas primarias de origen crustal o marino y gases presentes en la atmósfera, como ocurre por ejemplo en la reacción del ácido nítrico gaseoso con cloruro sódico o carbonato cálcico, que resulta en la formación de nitrato sódico o cálcico (Harrison y Pio, 1983; Querol et al., 1998) en el rango >1 µm debido al tamaño original de estos compuestos naturales.

En términos de calidad del aire se definen también cuatro parámetros fundamentales atendiendo al tamaño de corte de los sistemas de captación: PST, $PM_{10}$, $PM_{2.5}$ y $PM_1$

(Figura 5). Mientras que el término PST se refiere a Partículas en Suspensión Totales, PM10 se define como la masa de partículas que atraviesa un cabezal de tamaño selectivo para un diámetro aerodinámico de 10 µm con una eficiencia de corte del 50 %. La misma definición para cabezales de corte de 2.5 µm y 1 µm se aplica para $PM_{2.5}$ y $PM_1$, respectivamente.

En la Figura 7-3 se muestra un ejemplo que representa la distribución del material particulado en función del número, superficie y masa de las partículas. Los resultados que en ella se presentan provienen de un estudio llevado a cabo por el Dr. Hans C. Hasson durante dos semanas en una estación de tráfico en Estocolmo. En primer lugar, las partículas de las modas de nucleación y Aitken dominan el número de partículas. La distribución en función de la superficie, por otra parte, muestra un máximo en torno a 0.1 µm lo cual indica que en este diámetro se produce la acumulación de masa de forma más efectiva por procesos de coagulación y condensación. Sin embargo, también se detecta un incremento en la superficie en las partículas gruesas. Por último, la distribución de la masa se concentra en la moda gruesa.

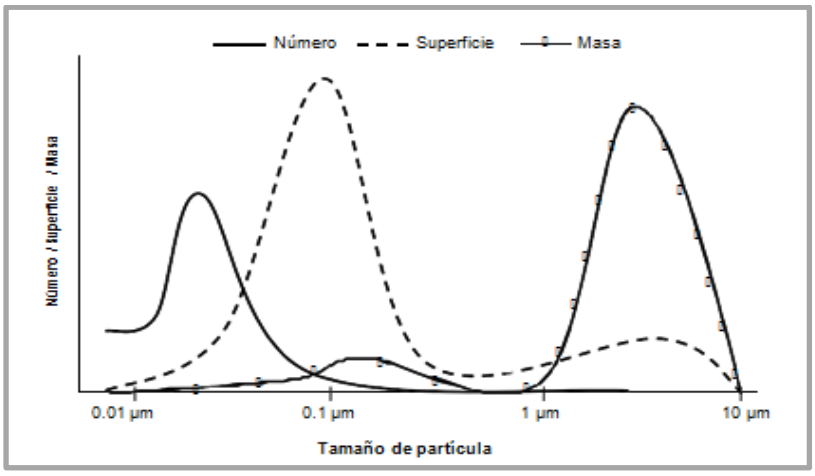



**Figura 7-3 Distribución granulométrica del material particulado atmosférico en función del número de partículas, la superficie y la masa**

Fuente: Dr. H C Hasson.

## Efectos del material particulado atmosférico

El material particulado atmosférico es, tal como se ha descrito anteriormente, un conjunto heterogéneo de partículas emitidas por muy diversas fuentes, que incluye componentes de distinta naturaleza. Consecuentemente, los efectos del material particulado sobre el entorno son también muy variados, y los más importantes entre ellos se describen a continuación.

### ***Efectos sobre la salud***

El sistema respiratorio constituye la principal vía de entrada del material particulado en el organismo. La deposición de las partículas en diferentes partes del cuerpo humano depende del tamaño, forma y densidad de las partículas, así como de la respiración del individuo (nasal u oral). Posteriormente, los efectos que puede inducir el material particulado en el organismo dependen de la granulometría, la morfología y la composición química de las partículas, el tiempo de exposición y la susceptibilidad de cada persona. Todas las partículas de diámetro <10 µm ($PM_{10}$, partículas torácicas) tienen un tamaño suficiente para penetrar en la región traqueobronquial (Ver Figura 7-4) pero sólo aquellas de diámetro <2.5 µm ($PM_{2.5}$, partículas alveolares) pueden alcanzar la cavidad alveolar y, por tanto, provocar mayores afecciones.

En la Tabla 7-1 se resumen los criterios médicos y los establecidos por la norma EN-12341 (1999) en lo referente a la capacidad de penetración de las distintas fracciones del material particulado atmosférico en el organismo.

A partir de numerosos estudios epidemiológicos llevados a cabo en las décadas de 1980 y 1990 se han obtenido suficientes datos para afirmar que existe una correlación significativa entre la exposición al material particulado atmosférico y diversos efectos adversos sobre la salud (Dockery et al., 1993; Schwartz, 1994 y 1996; Bascom et al., 1996; Dockery y Pope, 1996; Brunekreef et al., 1997; Künzli et al., 2000). En estos estudios los niveles de material particulado han sido caracterizados de diferentes formas, incluyendo la concentración en masa total (Partículas en Suspensión Totales, PST), la concentración de algunas de sus fracciones (PM10, PM2.5, PM1), la composición química o la concentración de black carbon (BC). Según sus resultados, a modo de ejemplo, en Austria, Suiza y Francia el 6% de las muertes anuales (aproximadamente 40.000 muertes/año) son atribuibles a la contaminación por partículas atmosféricas (Künzil et al., 2000). Los efectos de la exposición al material particulado atmosférico se observan tanto en episodios de contaminación crónicos como agudos (WHO, 2002). Ambos tipos de episodio conllevan aumentos en los ingresos hospitalarios por enfermedades respiratorias y cardiovasculares, siendo estas las principales causas de los incrementos en la mortalidad (Schwartz, 1994; Dockery y Pope, 1996).

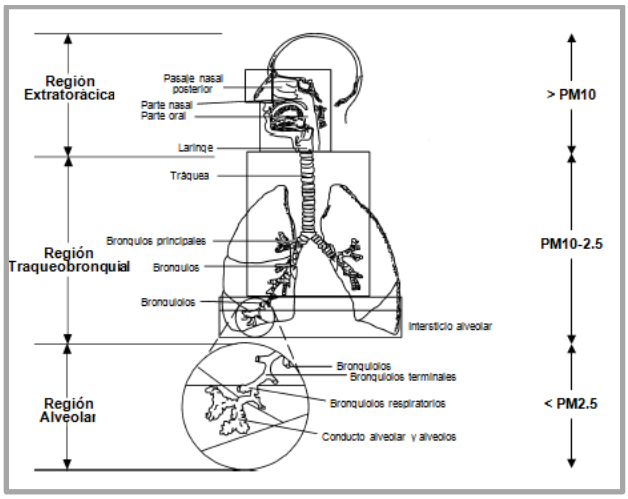



**Figura 7-4 Representación de las diversas regiones del aparato respiratorio humano**
Fuente: EPA, 2002.

**Tabla 7-1 Criterios médicos y UNE (EN 12341, 1999) con respecto a las partículas de diámetro <10, 2.5 y 1 µm ($PM_{10}$, $PM_{2.5}$ y $PM_1$)**

| TOXICIDAD | | |
|---|---|---|
| **Tamaño** | **Criterio médico** | **Criterio UNE** |
| > $PM_{10}$ | Laringe, faringe, cavidades nasales (>10µm) | Fracción inhalable (<30µm)<br>Fracción extratorácica (>10µm) |
| $PM_{10-2.5}$ $PM_{2.5}$ (<2.5 µm) | Tráquea (10-6µm)<br>Bronquios (6-3µm) | Fracción torácica (<10µm)<br>Fracción traqueobronquial (10- 2.5µm) |
| $PM_1$ (<1 µm) | Alvéolos (1µm) | Fracción alveolar (<2.5µm) |

Estudios recientes (HEI, 2000; Lipfert., 2000; Hoek et al., 2002; Pope et al., 2002) se han desmarcado de la trayectoria seguida por estudios precedentes, que centraban su atención en el estudio de las fracciones más gruesas (PST y $PM_{10}$), para analizar los efectos de las partículas de menor diámetro. Concretamente, estos autores se centran en los efectos de la exposición a largo plazo a las fracciones más finas del material particulado. El mayor riesgo para la salud de la fracción $PM_{2.5}$ (fracción alveolar de $PM_{10}$) se relaciona con su mayor capacidad de penetración en el organismo y mayor reactividad química (EPA, 1996). La principal conclusión alcanzada por estos estudios es la evidencia de una correlación significativa entre el incremento de la mortalidad y de los niveles de material particulado fino (<2.5 µm). El incremento de la mortalidad está directamente relacionado con afecciones cardiovasculares. Las partículas en suspensión totales (PST) y aquellas en el rango $PM_{2.5-10}$ no presentan una asociación significativa con la tasa de mortalidad (Pope, 2002).

Diversos autores se han encaminado también a evaluar la influencia del material particulado atmosférico fino sobre el número de casos de cáncer de pulmón. Cohen (2000) y Nyberg et al. (2000) encontraron una relación directa con las emisiones de los motores de los vehículos, estimadas a partir de las emisiones de $NO_2$. Asimismo, Bhatia et al. (1998) y Lipsett y Campleman (1999) afirman que las emisiones de los motores diesel podrían ser

la causa de este incremento en los casos de cáncer de pulmón, en conjunto o de forma independiente de las emisiones de NO2 contaminante. Sin embargo, Abbey et al. (1999) discuten la relación entre PM2.5 y cáncer de pulmón, al observar un mayor grado de correlación con $PM_{10}$ y las emisiones de $SO_2$. La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no ha clasificado hasta la fecha las emisiones de motores diesel como agente carcinogénico en humanos (WHO, 2003).

Como resultado de estos estudios, la Organización Mundial de la Salud en su informe de enero de 2003 recomienda el desarrollo de la directiva europea de Calidad del Aire en lo referente al PM2.5. Asimismo, debido a la evidencia existente en la literatura que demuestra los efectos adversos de la fracción gruesa (PM2.5-10, Dockery y Pope 1993; Pekkanen et al. 1997; Künzli et al., 2000) sugiere garantizar la vigencia de la normativa respecto a PM10 (WHO, 2003).

Al margen del diámetro de partícula, los efectos en la salud del material particulado atmosférico dependen de su composición química. A pesar de que en la actualidad existen todavía incertidumbres acerca de los efectos provocados por las diferentes especies químicas, la mayoría de los estudios apunta a que el mayor impacto en la salud viene causado por las partículas de carbono elemental (EC), compuestos orgánicos (OM, concretamente PAHs), sulfatos y nitratos, partículas ultrafinaas (<0.1 µm) y determinados metales (As, Cd, Fe, Zn, Ni; Wichmann y Peters, 2000; WHO, 2003). El hecho de que la mayoría de estas partículas se acumulen en la fracción PM2.5 contribuye a incrementar sus efectos adversos sobre la salud.

**Óxidos de nitrógeno (NO y $NO_2$)[3]**

El monóxido de nitrógeno (NO) es formado en el quemado de combustibles fósiles por oxidación del nitrógeno del aire. No hay evidencia que el NO sea dañino para la salud en las concentraciones normalmente encontradas en la atmósfera. La importancia de conocer su concentración en el aire ambiente, y su relación con la calidad de este, se debe a que frecuentemente el NO es oxidado formando dióxido de nitrógeno ($NO_2$). El $NO_2$ no sólo es tóxico, sino también corrosivo y altamente oxidante. Pequeñas cantidades de $NO_2$, usualmente menor que décimas por ciento, son formadas directamente durante la combustión a temperatura elevada. Menos del 10 % del $NO_2$ se forma por oxidación directa del NO en el corto intervalo entre la eyección de NO como un producto de la combustión y el tiempo en que este diluye su concentración debajo de 1 ppm. La mayoría del $NO_2$ que se encuentra en la atmósfera resulta por la oxidación del NO en presencia de luz solar, ozono e hidrocarburos. Otros óxidos de nitrógeno no son considerados por su baja concentración en la atmósfera y por no reaccionar foto químicamente.

Antes de la salida del sol las concentraciones de NO y $NO_2$ permanecen relativamente constantes. Cuando aumenta la actividad urbana de las 6 a 8 en horas de la mañana, la concentración de contaminantes primarios, CO y NO, aumenta dramáticamente. Luego, por

[3] Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en la atmosfera.

aumento de la radiación solar ultravioleta, aumenta la concentración de $NO_2$ a partir del NO. Cuando la concentración de NO cae a niveles muy bajos (menor del 0,1 ppm) los oxidantes fotoquímicos comienzan a acumularse y alcanzan un pico al mediodía. El aumento del tráfico de automotores por la tarde causa un nuevo aumento en la concentración de NO.

Aún en la ausencia de luz solar, se continúa formando el $NO_2$ a partir del NO por acción del ozono, hasta que el aporte del $O_3$ se agota. Al igual que el $SO_2$, el dióxido de nitrógeno es otro de los contaminantes gaseoso que poseen carácter ácido. Su acción se manifiesta mediante la descomposición del $NO_2$ con la humedad presente en el sistema respiratorio, transformándose en ácido nítrico ($HNO_3$) y nitroso ($HNO_2$). Dado que el $NO_2$ no es muy soluble en agua pasa a través de la tráquea y bronquios, relativamente secos, alcanzando el área húmeda de los pulmones (los alvéolos) donde forma los ácidos mencionados, ambos irritantes y corrosivos para la cubierta mucosa de los pulmones.

**Dióxido de Azufre ($SO_2$)[4]**

El dióxido de azufre ($SO_2$) se genera por oxidación del azufre contenido en los combustibles al quemarse estos. Actualmente su nivel tiende a bajar dado que se exigen combustibles con bajo contenido de azufre. Como el $SO_2$ es soluble en agua, interacciona física y químicamente con la humedad ambiente. Reacciona fotoquímica y catalíticamente con otros componentes de la atmósfera. La cinética de las reacciones es compleja, algunas de las cuales no son entendidas. El $SO_2$ puede ser catalíticamente oxidado a $SO_3$ en presencia de óxidos de nitrógeno. El $SO_3$ luego convierte óxidos básicos a sulfato. La tasa de oxidación de $SO_2$ a sulfatos varía de 0,17 % / hora a 50 % / hora, dependiendo de la humedad relativa y la presencia y concentración relativa de otros contaminantes. La tasa es típicamente más rápida en zonas urbanas. El $SO_2$ puede ser foto oxidado a ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) en aerosol en la presencia de vapor de agua y más rápidamente cuando están presentes los hidrocarburos, dióxidos de nitrógeno o compuestos de hierro o de manganeso.

Debido a las interacciones complejas del $SO_2$ con otros contaminantes es muy difícil determinar tiempo de residencia y vida media. En general la vida media va de una hora a varios días. La vida media más corta es característica del $SO_2$ urbano donde existen muchos otros contaminantes. Un decaimiento exponencial con una vida media de tres horas es típico de una ciudad. Se ha encontrado que el océano es el mayor sumidero de $SO_2$ El dióxido de azufre, por su carácter ácido, tiene efectos irritativos sobre las vías respiratorias, creando problemas de bronquitis obstructiva. Al encontrarse en presencia de partículas en suspensión, la sinergia producida por ambas sustancias aumenta su agresividad. Su solubilidad en agua y posible transformación a ácido sulfúrico, así como su propio carácter ácido, permiten que origine problemas puntuales en regiones de alta sensibilidad del sistema respiratorio.

[4] Manual de tecnologías de medición de concentración de gases y material particulado en la atmosfera.

La temperatura en un punto dado tiene un pequeño efecto directo sobre la concentración de $SO_2$. Sólo gradientes de temperatura, principalmente en el sentido vertical, tienen alguna influencia. Sin embargo, la temperatura ambiente puede influenciar la emisión de $SO_2$ (en realidad su producción), sobre todo cuando se quema combustibles para calefacción. También si la generación de electricidad es fundamentalmente térmica, los requerimientos de refrigeración en verano influyen en la emisión de $SO_2$.

**Monóxido de Carbono (CO)**

El monóxido de carbono (CO) se produce por la oxidación incompleta del carbono en el proceso de combustión. En general esto ocurre en los automotores, dado que en las industrias y en las centrales térmicas se controla que la oxidación sea total, generando $CO_2$ pues es la forma de obtener el mayor rendimiento térmico de los hidrocarburos, o sea hay un aspecto económico de por medio; el $CO_2$ no es dañino para el ser humano, si bien produce otros efectos como el invernadero. La producción de $CO_2$ es inevitable, dado que es inherente al proceso mismo de oxidación del combustible, pero la generación de CO puede ser reducida al máximo con un control adecuado de la combustión.

El monóxido de carbono actúa por asociación con la hemoglobina de la sangre, formando carboxihemoglobina, reduciendo ostensiblemente la oxigenación debido a que el CO es 210 veces más reactivo que el oxígeno con la hemoglobina. Por lo tanto, se observa una disminución en el transporte de oxígeno por la sangre hacia las células del cuerpo humano.

Cuando la concentración de CO supera las 1200 ppm, se puede producir pérdida de reflejos, dolores de cabeza, náuseas, vómitos, y si persiste puede llevar a la muerte. En la Tabla 7-2 se presentan los efectos a la Salud causados por diferentes concentraciones de CO.

**Tabla 7-2. Efectos a la Salud por concentraciones de CO**

| EFECTOS A LA SALUD POR CONCENTRACIONES DE MONÓXIDO DE CARBONO (CO) | | |
|---|---|---|
| **% Volumen de Aire** | **ppm** | **Efectos a la salud** |
| 0,02 | 200 | Dolor de cabeza Posible, frontal leve de 2 a 3 horas. |
| 0,04 | 400 | Dolor de cabeza, frontal, y náuseas después 1-2 horas. |
| 0,08 | 800 | Dolor de cabeza, mareo y náuseas en ¾ de hora, colapso, e inconciencia posible en 2 horas. |
| 0,12 | 1200 | Dolor de cabeza, mareo y náuseas en 20 minutos; colapso, inconciencia, posiblemente la muerte en 2 horas. |

Fuente: Health Hazards in Construction Workbook. Año 2011

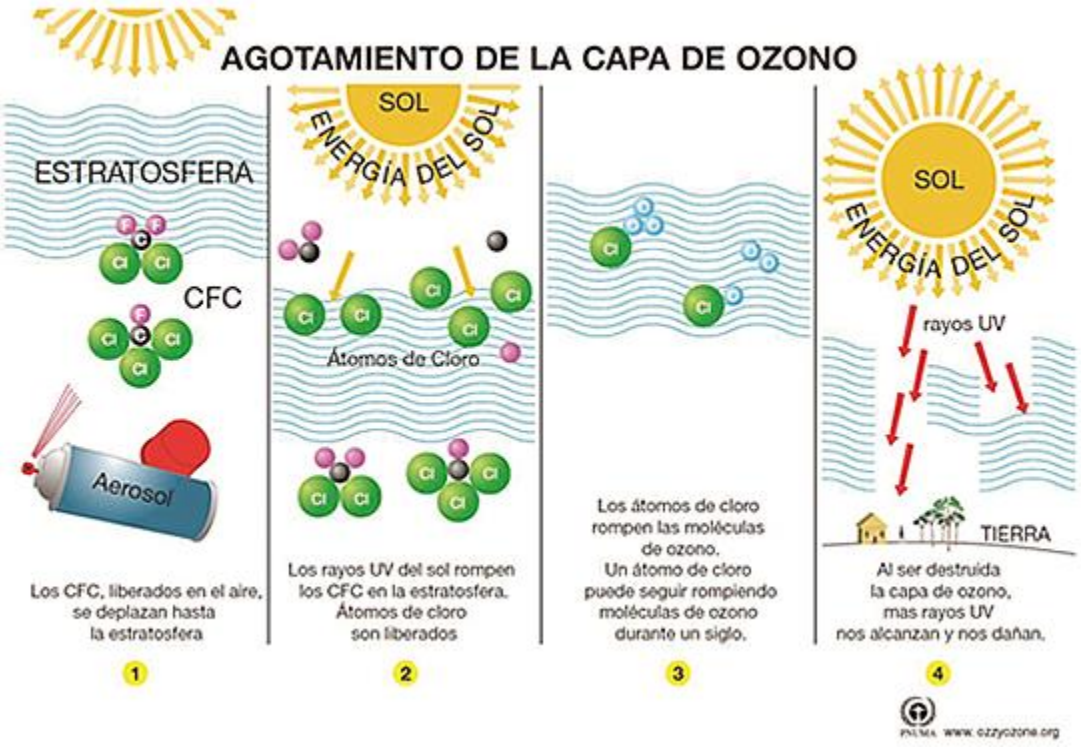
**OZONO ($O_3$)**

El ozono se forma en la atmósfera por efecto de las radiaciones del sol sobre los átomos de oxígeno, allí se distribuye en una de sus capas, la estratosfera, dando origen a la famosa capa de ozono. La producción de este gas se ve afectada por factores como la actividad

solar, las estaciones y la hora del día. Otra fuente de ozono es la exposición del aire a campos electromagnéticos como los ocasionados por tormentas o por algunos aparatos.

El hombre ha creado productos químicos a base de carbono y halógenos (cloro, bromo y flúor), conocidos como halocarbonos, usados para la fabricación de sistemas de refrigeración y aire acondicionado, aerosoles y espumas sintéticas, entre otros. Los halocarbonos que contienen cloro y bromo son responsables del adelgazamiento y destrucción de la capa de ozono, por lo que se conocen como sustancias agotadoras de ozono (SAO), permitiendo que los rayos ultravioleta B ingresen con mayor intensidad hasta la superficie terrestre y afecten la vida en el planeta.

Se dice que existe un "agujero" en la capa de ozono cuando la cantidad total de ozono en la atmósfera es inferior a 220 Unidades Dobson. El agujero de ozono es un fenómeno que se presenta con mayor intensidad sobre la Antártida (Polo Sur), cada año entre los meses de septiembre y octubre, cuando se destruyen millones de moléculas de ozono.



# ANEXO 7 MEDIA MOVIL CO-$O_3$