

**TÉRMINOS DE REFERENCIA EN ESTUDIO DE IMPACTO  
AMBIENTAL PARA EL AEROPUERTO INTERNACIONAL ELDORADO  
DE LA CIUDAD DE BOGOTÁ D.C.**



**AERONÁUTICA CIVIL**  
Unidad Administrativa Especial



Unidad Administrativa Especial  
Aeronáutica Civil

Metodología Mediciones de  
Calidad de Aire.

Anexo D. Metodología

Contrato No. 18001608 H3 – 2018

## TABLA DE CONTENIDO

1	METODOLOGÍA MONITOREO CALIDAD DEL AIRE .....	6
1.1	NORMATIVA APLICADA .....	7
1.1.10	Cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) .....	8
1.2	CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS EN ESTUDIO .....	10
1.2.1	Material particulado menor a diez micras y dos puntos cinco micras (PM10 – PM2.5) 10	
1.2.2	Monóxido de Carbono (CO) .....	10
1.2.3	Dióxido de Azufre (SO <sub>2</sub> ) .....	11
1.2.4	Dióxido de Nitrógeno (NO <sub>2</sub> ) .....	11
1.2.5	Ozono (O <sub>3</sub> ) .....	11
1.3	INVENTARIO DE EMISIONES .....	11
1.4	IDENTIFICACIÓN DE LOS POTENCIALES RECPTORES DE INTERÉS .....	14
1.5	DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL MONITOREO .....	16
1.5.1	Sistemas automáticos para la vigilancia de la calidad del aire .....	17
1.6	TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS .....	18
1.6.1	Analizador de material particulado PM <sub>10</sub> Marca Environnement, modelo MP101 18	
1.6.2	Analizador de material particulado PM <sub>2,5</sub> Marca Environnement, modelo MP101 19	
1.6.3	Analizador de gases para medición de NO <sub>2</sub> Marca Recordum, modelo Airpointer 20	
1.6.4	Analizador de gases para medición de SO <sub>2</sub> Marca Recordum, modelo Airpointer 20	
1.6.5	Analizador de gases para medición de O <sub>3</sub> Marca Recordum, modelo Airpointer. 21	
1.6.6	Analizador de gases para medición de CO Marca Recordum, modelo Airpointer. 22	
1.7	PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN .....	23
1.8	REPORTE .....	25
1.8.1	Estadísticos realizados y respectivo análisis e interpretación .....	27
1.9	MANTENIMIENTO DE EQUIPOS .....	30
1.9.1.1	<b>Verificación de la calibración de los analizadores de material particulado de calidad del aire .....</b>	<b>30</b>
1.9.1.2	<b>Verificación de la calibración de los analizadores de gases de calidad del aire 31</b>	



---

1.9.2	Revisión de los analizadores de calidad del aire.....	32
1.9.2.1	<b>Revisión del analizador de material particulado .....</b>	<b>33</b>
1.9.2.2	<b>Revisión del analizador de gases.....</b>	<b>33</b>
2	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>35</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES.

Ilustración 1. Metodología Protocolo del Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire .	6
Ilustración 2. Diagrama de flujo para el diseño SVCA para actividades industriales .....	7
Ilustración 3. Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio .....	10
Ilustración 4. Etapas para el desarrollo de un inventario de emisiones atmosféricas.....	12
Ilustración 5. Identificación de fuentes de emisión puntuales .....	13
Ilustración 6. Identificación de fuentes de emisión móviles .....	14
Ilustración 7. Identificación de potenciales de interés.....	15
Ilustración 8. Macro Localización en el área de influencia Fuente: Aerocivil .....	16
Ilustración 9. Micro Localización en el área de influencia Fuente: Aerocivil .....	16
Ilustración 10. Tipo de SVA según su tecnología automática Fuente: Manual de operación (2010).....	17
Ilustración 11. Proceso general de operación de un SVCA automático Fuente: Manual de operación (2010) .....	17
Ilustración 12. Muestreador Low-vol PM10 Environnement MP101 .....	18
Ilustración 12. Muestreador Low-vol PM2.5 Environnement MP101 .....	19
Ilustración 14. Analizador automático de NO2 .....	20
Ilustración 15. Analizador automático de SO2 .....	21
Ilustración 15. Analizador automático de O3.....	22
Ilustración 17. Analizador automático de CO.....	23
Ilustración 18. Proceso de tomas de muestras hasta el procesamiento de la información	24
Ilustración 19. Manejo de la información, ambiensQ .....	25
Ilustración 16. Procesamiento de la información.....	26
Ilustración 17. Diagrama de representación gráfica en diferentes periodos de tiempo .....	28
Ilustración 18. Diagrama de representación gráfica entre cuartiles.....	29
Ilustración 19. Diagrama de representación de gráficas polares.....	30
Ilustración 24. Equipo de calibración de flujo DeltaCal.....	31
Ilustración 25. Equipo de calibración de gases Airqrate .....	31
Ilustración 20. Mantenimiento y control externos .....	32

---

Ilustración 21. Proceso de revisión de un analizador de partículas .....	33
Ilustración 22. Proceso de revisión de un analizador de gases .....	34

### LISTA DE TABLAS

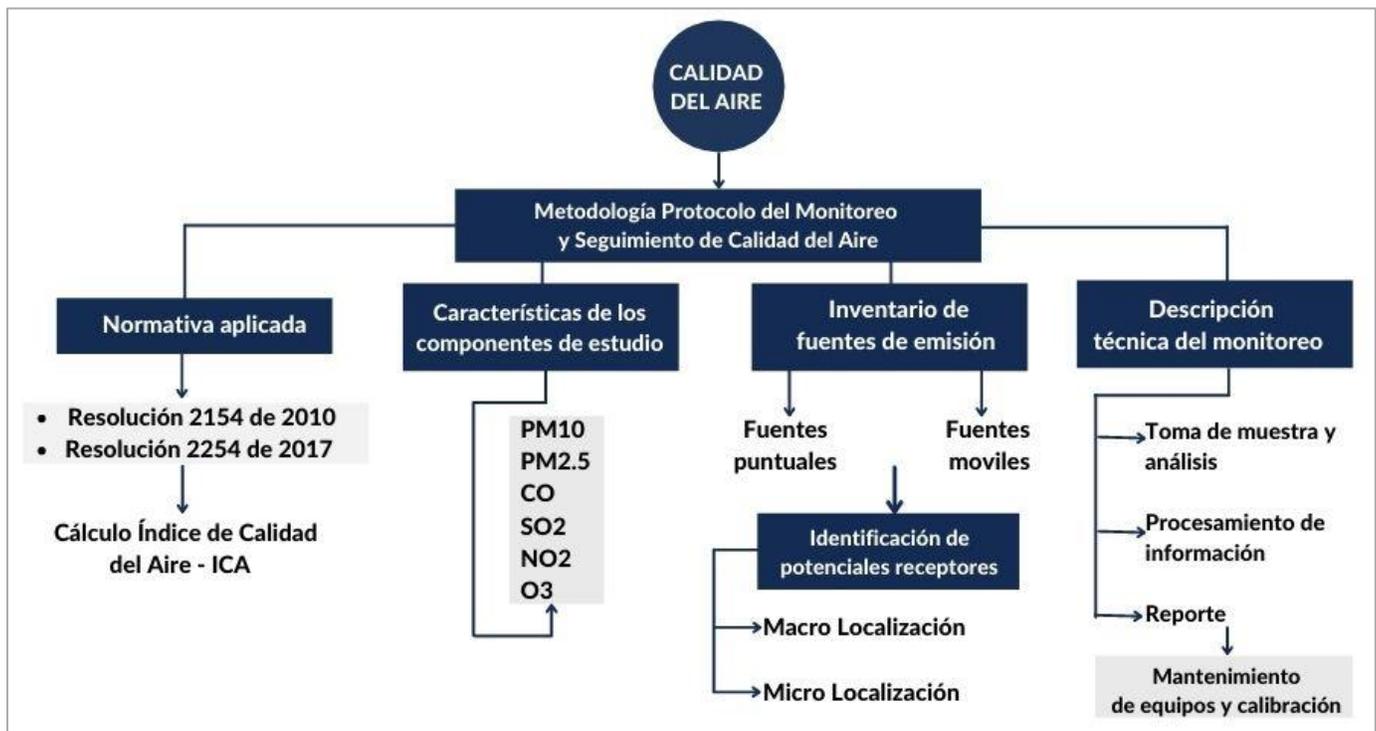
Tabla 1. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio.....	8
Tabla 2. Rangos en los que han sido clasificados los valores del ICA de acuerdo con el color asignado para facilitar su interpretación.....	9

## 1 METODOLOGÍA MONITOREO CALIDAD DEL AIRE

Los niveles de concentración de los contaminantes atmosféricos son monitoreados por el Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire – SVCA, cuyo diseño y operación se rige por el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire<sup>1</sup> (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Las autoridades ambientales encargadas de la operación del sistema velan por la correcta custodia, análisis y validación de los datos, así como el adecuado mantenimiento de los equipos de medición.

La base de datos consolidada fue analizada en una base de tiempo mensual para el periodo de 2019 y 2020, respectivamente para cada estación de monitoreo, así mismo para cada variable; en pocas palabras, el análisis se fundamentó en la evaluación inicial de series mensuales, cuyos resultados permitieron la consolidación de información, de tal manera evidenciar el panorama del estado de la calidad del aire en el área de influencia.

En la Ilustración 1 presenta un esquema general correspondiente a las actividades en esta sección, de manera desglosada de la descripción técnica del monitoreo que se implementan en cumplimiento con la normativa especificada.



**Ilustración 1. Metodología Protocolo del Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire**  
Fuente: Aerocivil

<sup>1</sup> Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire 2010 – MAVDT  
Donde se 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 Colombia.

## 1.1 NORMATIVA APLICADA

Lo contemplado en la Resolución 2154 de 2010<sup>2</sup> (MADS), se establecen las consideraciones a tener en cuenta para diseñar y operar Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire – SVCA, de acuerdo a los lineamiento y aspectos más relevantes para realizar el sistema.

Dentro de lo estipulado en el protocolo que consta de dos manuales que guían el proceso de diseño y operación de sistema, con el objeto principal de lograr mejoramiento continuo en la gestión de la calidad del aire. Se adopta los lineamientos establecidos en el capítulo 3 de Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire<sup>3</sup>, cual conforma el proceso para actividades industriales, cuando estas son requeridas por la autoridad ambiental. (Ver Ilustración 2 Ilustración 3)



**Ilustración 2. Diagrama de flujo para el diseño SVCAI para actividades industriales**

Fuente: Resolución 2154 del 2010 - Manual de Diseño

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> Contiene todos los lineamientos y elementos conceptuales para el diseño de un SVCA

La Resolución 2254 del 1 de noviembre de 2017<sup>4</sup> (MADS), establece la norma de calidad del aire o nivel de inmisión y adopta disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional para garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana.

En el Artículo 2 de la resolución en mención, se establecen los niveles máximos permisibles vigentes a condiciones de referencia para los *contaminantes criterio* como se muestra en la Tabla 1.

**Tabla 1. Niveles máximos permisibles para contaminantes criterio**

CONTAMINANTE	NIVEL MÁXIMO PERMISIBLE ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	TIEMPO DE EXPOSICIÓN
PM <sub>10</sub>	50	Anual
	75	24 horas
PM <sub>2.5</sub>	37	Anual
	50	24 horas
SO <sub>2</sub>	50	24 horas
	100	1 hora
NO <sub>2</sub>	60	Anual
	200	1 hora
O <sub>3</sub>	100	8 horas
CO	5.000	8 horas
	35.000	1 hora

Fuente: Artículo 2. Resolución 2254 de 2017 – MADS

La verificación del cumplimiento de los niveles máximos permisibles establecidos en la tabla de acuerdo a la concentración de los contaminantes de aire, se evalúa para el estudio en cada punto de monitoreo ubicado en el área de influencia.

#### 1.1.10 Cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) <sup>5</sup>

El Índice de Calidad del Aire (ICA) permite comparar los niveles de contaminación del aire de las estaciones de muestreo que conforman un Sistema de Vigilancia de Calidad del Aire (Unidades espaciales de referencia), en un tiempo t, que corresponde al período de exposición previsto en la norma para cada uno del contaminante criterio que se está midiendo.

El ICA, ha sido adoptado a partir de las recomendaciones técnicas consignadas en el *Technical Assistance Document for the Reporting of Daily Air Quality – The Air Quality Index (AQI)* <sup>6</sup>, como se explica en el Manual de Operación de Sistemas de Vigilancia de la Calidad

<sup>4</sup> Por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones (MADS)

<sup>5</sup> El ICA es un valor adimensional para reportar el estado de la calidad del aire en función de un código de colores al que están asociadas unos efectos generales, son tenidos en cuenta para reducir la exposición a altas concentraciones por parte de la población. Este índice también es utilizado en el pronóstico de la calidad del aire.

<sup>6</sup> EPA-454/B-09-001 de febrero de 2009.

del Aire, del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT, 2010), adaptada en la Resolución 2254 del 2017.

Teniendo en cuenta los contaminantes que son monitoreados en el país, las características de los combustibles que se distribuyen y los equipos que actualmente se encuentran en las SVCA, el ICA está enfocado en el cálculo de manera independiente para cada uno de los contaminantes: PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y CO.

Los valores del ICA se ubican en una escala adimensional de 0 a 500, que han sido agrupados en 6 rangos que guardan estrecha relación con la amenaza que, a la salud humana representan dichos niveles de contaminación del aire. Para facilitar su interpretación cada uno de estos rangos ha sido asociado a un color que sirve de alerta.

En la Tabla 2 se presentan los rangos en los que han sido clasificados los valores que puede tomar el ICA, junto con el color que le fue asignado para identificar de forma sencilla la alerta que representa el nivel de contaminación.

**Tabla 2. Rangos en los que han sido clasificados los valores del ICA de acuerdo con el color asignado para facilitar su interpretación**

Rangos	Colores	Estado de la calidad del aire
0<ICA<50	Verde	Buena
51<ICA<100	Amarillo	Aceptable
101<ICA<150	Naranja	Dañina a la salud de grupos sensibles
151<ICA<200	Rojo	Dañina para la salud
201<ICA<300	Purpura	Muy dañina para la salud
301<ICA<500	Marrón	Peligroso

Fuente: Resolución 2254 del 2017, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.

El indicador se calcula a partir de las mediciones de concentración de los contaminantes monitoreados en los SVCA, y los puntos de corte preestablecidos para cada uno de los contaminantes, de tal manera reportando el mayor valor que se obtenga del cálculo de cada uno de los contaminantes medidos, mediante la siguiente expresión:

$$I_P = \frac{I_{Hi} - I_{Lo}}{BP_{Hi} - BP_{Lo}} (C_P - BP_{Lo}) + I_{Lo}$$

Dónde:

I<sub>p</sub> = Índice para el contaminante P

C<sub>p</sub> = Concentración medida para el contaminante P

$BP_{Hi}$  = Punto de corte mayor o igual a  $C_P$

$BP_{Lo}$  = Punto de corte mayor o igual a  $C_P$

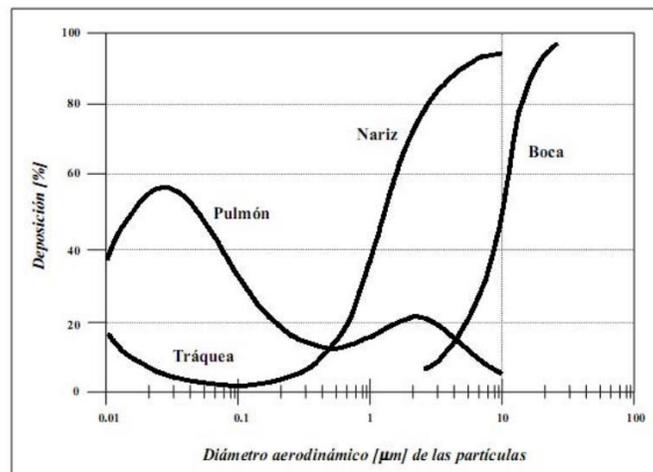
$I_{Hi}$  = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al  $BP_{Hi}$

$I_{Lo}$  = Valor del Índice de Calidad del Aire correspondiente al  $BP_{Lo}$

## 1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS COMPUESTOS EN ESTUDIO<sup>8</sup>

### 1.2.1 Material particulado menor a diez micras y dos puntos cinco micras (PM10 – PM2.5)

El material particulado consiste en toda la materia sólida o líquida emitida por diferentes fuentes de emisión que se pueden emitir directamente a la atmósfera como (partículas primarias) o se pueden formar en ésta última por reacciones químicas (partículas secundarias). El tamaño de partícula, es expresado generalmente en términos de su diámetro aerodinámico, y la composición química es influenciada por su origen. Además, 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, tal y como se representa en la Ilustración 3.



**Ilustración 3. Porcentaje de deposición de partículas en cada órgano del sistema respiratorio**  
Fuente: Manual de Diseño (2010)

Las partículas respirables  $PM_{10}$  y  $PM_{2.5}$  incluyen a todas las partículas de diámetro aerodinámico igual o inferior a  $10 \mu m$  o  $2.5 \mu m$  respectivamente, el pequeño tamaño de las partículas les permite ingresar fácilmente al sistema respiratorio donde se pueden depositar causando efectos adversos sobre la salud. Los efectos a la salud vinculados a la exposición prolongada a este contaminante corresponden a un aumento en síntomas respiratorios severos.

### 1.2.2 Monóxido de Carbono (CO)

<sup>8</sup> Anexo 1. Teoría sobre contaminantes de referencia Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de La Calidad del Aire - Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. (MAVDT, 2010).

Este gas es considerado como el gas más ligero en el aire, producido por la combustión incompleta del carbón presente en los combustibles, siendo sus principales fuentes estacionarias y móviles que queman combustible. El CO, es un gas inodoro e incoloro que puede causar la muerte. Se genera por la incineración de combustibles como gas natural, gas propano, gasolina, petróleo, queroseno, madera o carbón. Cuando la persona inhala el CO, el gas tóxico entra en el torrente sanguíneo e impide que el oxígeno entre al organismo, lo cual puede causar daños en los tejidos y producir la muerte.

### 1.2.3 Dióxido de Azufre (SO<sub>2</sub>)

El dióxido de azufre es un gas estable, generado normalmente por la quema de combustibles fósiles. Este gas genera irritaciones que afectan las vías respiratorias y el funcionamiento pulmonar. Adicionalmente el SO<sub>2</sub> es excelente núcleo de condensación, lo cual genera problemas de visibilidad en la atmosfera, adicionalmente corroe materiales y es precursor de la lluvia acida.

### 1.2.4 Dióxido de Nitrógeno (NO<sub>2</sub>)

Los óxidos de nitrógeno afectan las vías respiratorias y generan irritación en la visión de las personas, adicional, la reacción del dióxido de nitrógeno con sustancias químicas producidas por la luz solar lleva a la formación de ácido nítrico, el principal constituyente de la lluvia ácida. Así mismo el dióxido de nitrógeno reacciona con la luz solar, lo cual lleva a la formación de ozono y smog en el aire ambiente.

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 posteriormente a NO<sub>2</sub>.

### 1.2.5 Ozono (O<sub>3</sub>)

El ozono es un contaminante secundario, que se forma a partir de reacciones fotoquímicas (producidas en luz solar) entre contaminantes primarios. Concretamente, se forma ozono cuando existen los óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>), y compuestos orgánicos volátiles (COVs) más una radiación solar intensa a lo largo de un periodo de tiempo.

Los efectos que el ozono puede provocar sobre la salud de las personas son tos, irritaciones en la faringe, el cuello, los ojos, y dificultades respiratorias como garganta seca. También puede producir otros problemas respiratorios como una mayor incidencia y un agravamiento del asma, la reducción de la función pulmonar y una inflamación de las vías respiratorias, que generan síntomas respiratorios y una alteración del rendimiento. Los niveles elevados de ozono también pueden causar un incremento de la mortalidad.

## 1.3 INVENTARIO DE EMISIONES<sup>9</sup>

Un inventario de emisiones atmosféricas es el resultado de la ejecución ordenada de acciones dirigidas a cumplir con criterios de calidad, coherencia, integridad, comparabilidad,

---

<sup>9</sup> Capítulo 4 – Numeral 4.4.2 *Inventario de emisiones con fines de diseño* Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de La Calidad del Aire -Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. (MAVDT, 2010).

representatividad de la estimación de emisiones generada por una o varias fuentes de interés.

El proceso de elaboración de un inventario de emisiones atmosféricas consta de cuatro etapas como se observa en la siguiente Ilustración 4:



**Ilustración 4. Etapas para el desarrollo de un inventario de emisiones atmosféricas**

Fuente: Guía para la elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas<sup>10</sup> (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, 2017)

Para el estudio del SVCA, se adopta las disposiciones estipuladas en el Capítulo 4 numeral 4.4.2 *Inventario de Emisiones de Diseño*, del Manual de Diseño (MADS, 2010). Se presenta la identificación de fuentes de emisión en el área de influencia directa del Aeropuerto Internacional El Dorado, esta información fue consultada de diferentes estudios y bases de datos con las que cuenta la Secretaría Distrital de Ambiente de la ciudad de Bogotá<sup>11</sup> (SDA) y la Corporación Autónoma Regional<sup>12</sup> (CAR). Esta información puede ser consultada en el Anexo1. Inventario de fuentes.

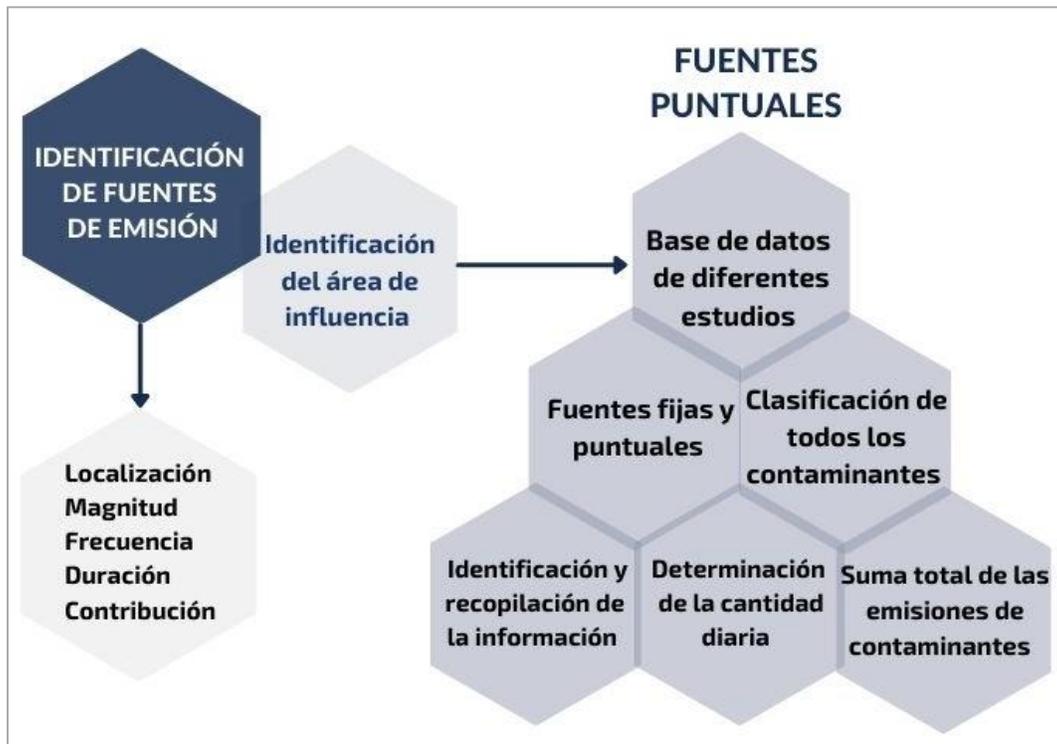
<sup>10</sup> Guía para la elaboración de Inventarios de Emisiones Atmosféricas (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Colombia, 2017).

[https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones\\_atmosfericas\\_contaminantes/documentos\\_relacionados/GUIA\\_PARA\\_LA\\_ELABORACION\\_DE\\_INVENTARIOS\\_DE\\_EMISIONES\\_ATMOSFERICAS.pdf](https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/emisiones_atmosfericas_contaminantes/documentos_relacionados/GUIA_PARA_LA_ELABORACION_DE_INVENTARIOS_DE_EMISIONES_ATMOSFERICAS.pdf)

<sup>11</sup> SDA

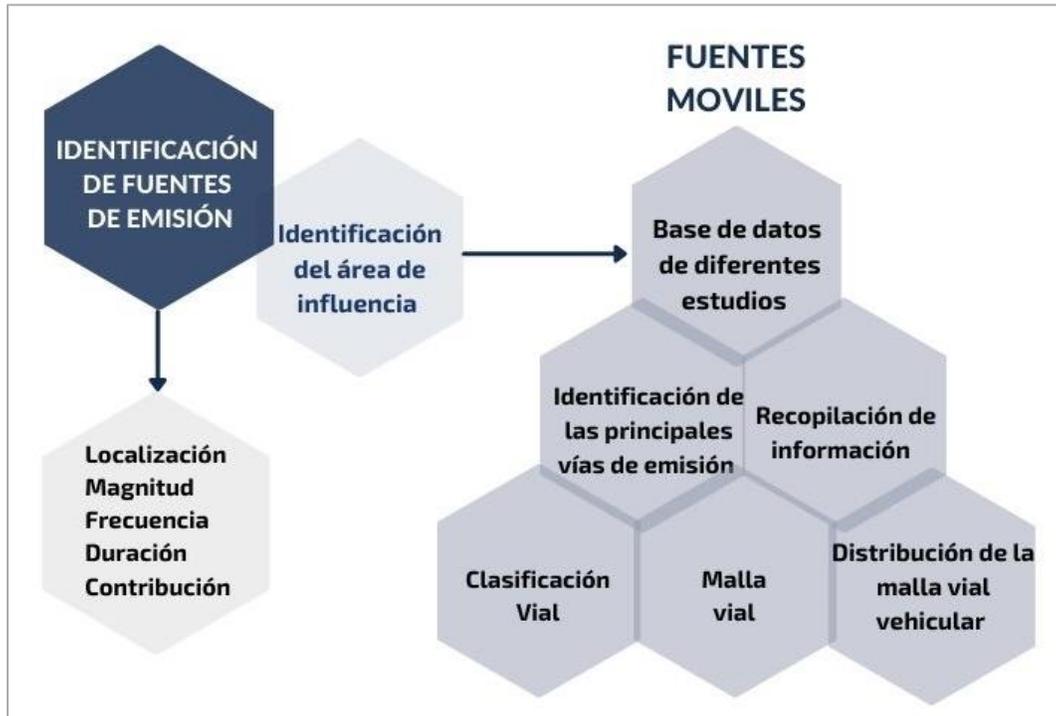
<sup>12</sup> CAR

En la Ilustración 5 e Ilustración 6, presenta la obtención de información de acuerdo a las fuentes de emisiones puntuales y fuentes móviles, de los respectivos estudios ambientales por entidades ya mencionadas.



**Ilustración 5. Identificación de fuentes de emisión puntuales**

Fuente: Aerocivil



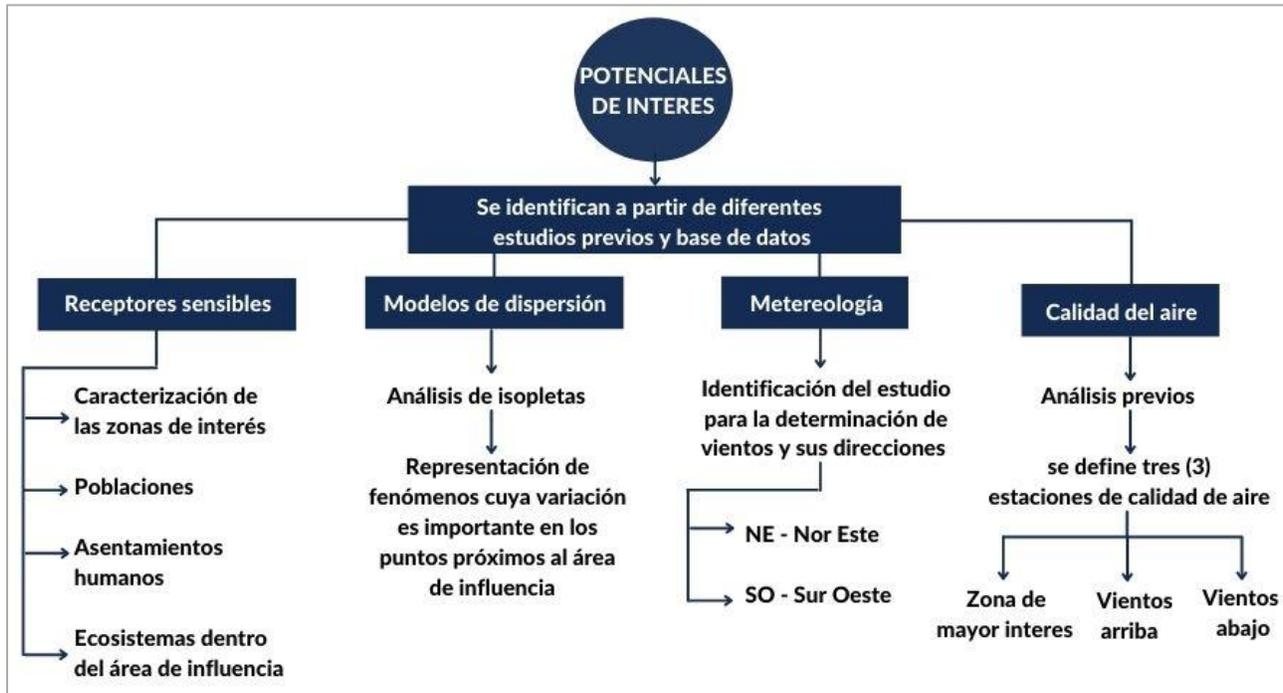
**Ilustración 6. Identificación de fuentes de emisión móviles**

Fuente: Fuente: Aerocivil

#### 1.4 IDENTIFICACIÓN DE LOS POTENCIALES RECPTORES DE INTERÉS

La identificación de los potenciales receptores de interés, se determinaron teniendo en cuenta la caracterización de las fuentes de emisión en el área de influencia. En este apartado, se describen las especificaciones de las áreas donde se definen la adecuada ubicación de las estaciones de monitoreo de calidad de aire.

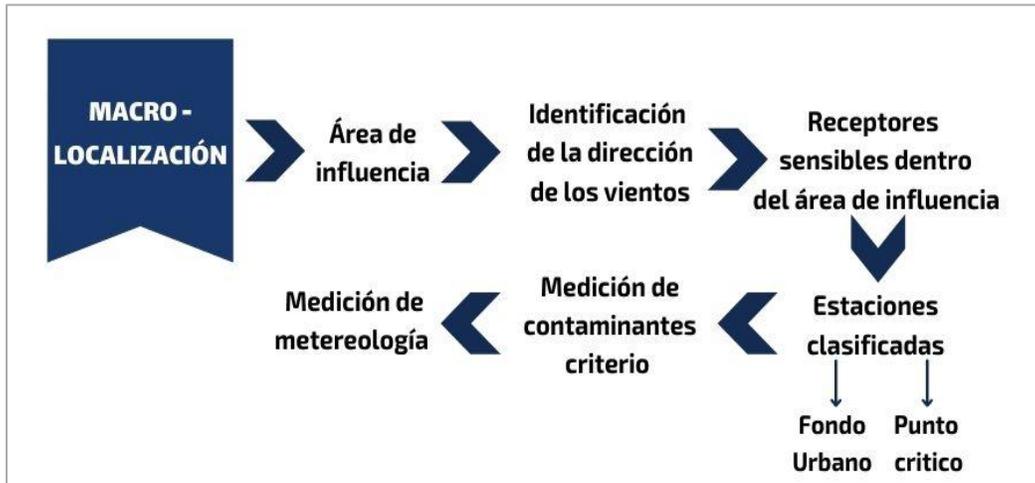
Las características previas para esta decisión, se realiza mediante el estudio de 4 etapas para la adecuada decisión de la ubicación y localización de las estaciones de la red de monitores de calidad del aire para el estudio en el área de interés del estudio. Observar en la Ilustración 7.



**Ilustración 7. Identificación de potenciales de interés**

Fuente: Aerocivil

Por lo descrito anteriormente, la distancia del proyecto a los receptores y según la dispersión representada por el modelo, para el sistema se definieron tres (3) estaciones de calidad de aire, de tal forma que se tenga cubierto el fondo y las zonas de interés en los diferentes periodos del año. Cubriendo zonas vientos arriba, vientos abajo y dentro del área de influencia. Con respectiva identificación de la, ubicación geográfica, población aproximada, y caracterización de la zona de interés, como se definieron en las dos siguientes Ilustración 8 e Ilustración 9.



**Ilustración 8. Macro Localización en el área de influencia**  
Fuente: Aerocivil



**Ilustración 9. Micro Localización en el área de influencia**  
Fuente: Aerocivil

En el Anexo2. Registro fotográfico, se realiza la integración de imágenes de cada una de las estaciones definidas para el SVCA, así mismo se encuentra el Anexo3.Ficha técnica de instalación, de cada uno de los equipos, con respectivas características, esto establecido, de acuerdo al respectivo estudio de macro localización y micro localización.

## 1.5 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL MONITOREO

El instrumento definido para el estudio de SVCA fue establecido y empleado de acuerdo a su tecnología, como instrumento automático. Con el principal objetivo de medir la cantidad presente de determinados contaminantes en el aire; constituidos totalmente por equipos y

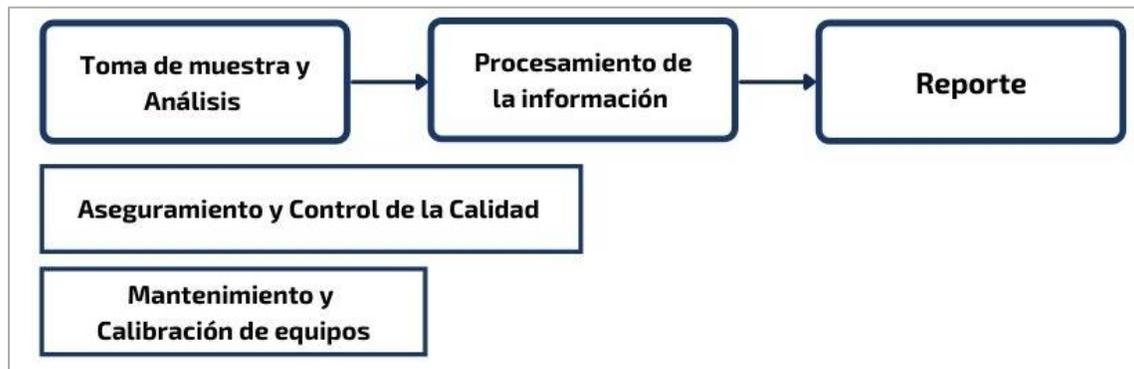
sistemas automáticos, de acuerdo a las generalidades del manual de operación, en el capítulo 3<sup>13</sup>. Ver Ilustración 10.



**Ilustración 10. Tipo de SVA según su tecnología automática**  
Fuente: Manual de operación (2010)

### 1.5.1 Sistemas automáticos para la vigilancia de la calidad del aire

De acuerdo a la metodología establecida para la determinación de las concentraciones de los parámetros contaminantes presentes en el aire usando un SVCA Automático, definido en el capítulo 5<sup>14</sup>. Se siguieron los respectivos lineamientos para cada una de las etapas de ejecución del sistema en el área de influencia. Conformada por tres secciones principales y dos de apoyo. Ver Ilustración 11.



**Ilustración 11. Proceso general de operación de un SVCA automático**  
Fuente: Manual de operación (2010)

<sup>13</sup> *Tipos de Sistemas de Vigilancia de Calidad del Aire según su Tecnología* Manual de Operación Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de La Calidad del Aire -Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. (MAVDT, 2010).

<sup>14</sup> *Sistemas Automáticos de Vigilancia de la Calidad del Aire* Manual de Operación Manual de Diseño de Sistemas de Vigilancia de La Calidad del Aire -Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire. (MAVDT, 2010).

## 1.6 TOMA DE MUESTRA Y ANÁLISIS

Para el estudio se cuenta con la red establecida de tres estaciones de acuerdo a la identificación de los receptores potenciales delimitados en el área de influencia, que hace parte integral del Sistema de Vigilancia y Control Ambiental – SVCA. Comprendiendo el monitoreo de material particulado y gases, espacialmente georreferenciadas, cubriendo las zonas vientos arriba, vientos abajo y directamente en el interior de Aeropuerto Internacional el Dorado. A continuación, se describen los métodos empleados por los equipos para el análisis de la muestra de cada contaminante.

### 1.6.1 Analizador de material particulado PM<sub>10</sub> Marca Environnement, modelo MP101

El método de toma de muestras utilizado fue:

Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación material Particulado como PM10: EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice J: PM<sub>10</sub>. Método de equivalente automatizado EQPM-0404-151.

El MP101 es un equipo de marca Environnement que se utiliza para medir partículas suspendidas en el ambiente. Su principio técnico se basa en la medición de partículas por atenuación de radiación beta. Las partículas suspendidas se recogen con un volumen de aspiración determinado (16,7 L/min) en una cinta de filtro de fibra de vidrio.

El principio de medición se basa en el aumento de la absorción de rayos beta con la densidad de la superficie de la muestra, la medición consiste en calcular la diferencia de absorción entre un filtro en blanco y un filtro cargado de partículas del ambiente, sabiendo que la absorción de rayos beta sigue una ley exponencial y es independiente de la naturaleza fisicoquímica de las partículas.



**Ilustración 12. Muestreador Low-vol PM10 Environnement MP101**

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Características principales:

- Medición de atenuación de rayos Beta.
- Flujo estándar de 16.7 L/min.
- Impactadores PM2.5 y PM10 aseguran el tamaño de partícula.
- Programación de periodos y ciclos establecidos en la referencia normativa US EPA.
- Nivel de detección de cero <2 ug/m3 en mediciones de 24 horas.

- Variaciones de flujo <2% del flujo nominal durante 24 horas.
- Cinta filtro con capacidad de medición hasta de 1200 muestras, en mediciones de 24 horas igual a 3 años de medición.
- Temperaturas de operación de 10°C a 40°C.
- Certificación US EPA y Unión Europea.

### 1.6.2 Analizador de material particulado PM<sub>2.5</sub> Marca Environnement, modelo MP101

El método de toma de muestras utilizado fue:

Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación material Particulado como PM<sub>2.5</sub>: EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice L: PM<sub>2.5</sub>. Método de equivalente automatizado EQPM-1013-211.

El MP101 es un equipo de marca Environnement que se utiliza para medir partículas suspendidas en el ambiente. Su principio técnico se basa en la medición de partículas por atenuación de radiación beta. Las partículas suspendidas se recogen con un volumen de aspiración determinado (16,7 L/min) en una cinta de filtro de fibra de vidrio.

El principio de medición se basa en el aumento de la absorción de rayos beta con la densidad de la superficie de la muestra, la medición consiste en calcular la diferencia de absorción entre un filtro en blanco y un filtro cargado de partículas del ambiente, sabiendo que la absorción de rayos beta sigue una ley exponencial y es independiente de la naturaleza fisicoquímica de las partículas.



**Ilustración 13. Muestreador Low-vol PM<sub>2.5</sub> Environnement MP101**

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Características principales:

- Medición de atenuación de rayos Beta.
- Flujo estándar de 16.7 L/min.
- Impactadores PM<sub>2.5</sub> y PM<sub>10</sub> aseguran el tamaño de partícula.
- Programación de periodos y ciclos establecidos en la referencia normativa US EPA.
- Nivel de detección de cero <2 ug/m<sup>3</sup> en mediciones de 24 horas.
- Variaciones de flujo <2% del flujo nominal durante 24 horas.
- Cinta filtro con capacidad de medición hasta de 1200 muestras, en mediciones de 24 horas igual a 3 años de medición.
- Temperaturas de operación de 10°C a 40°C.

- Certificación US EPA y Unión Europea.

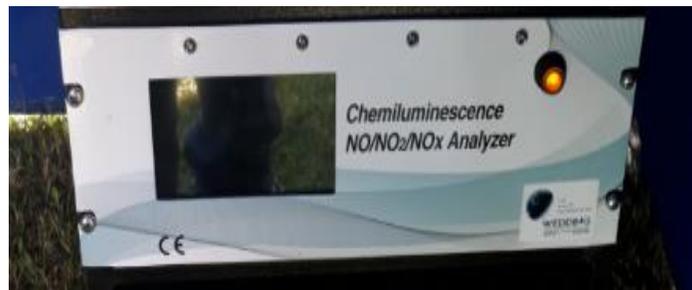
### 1.6.3 Analizador de gases para medición de NO<sub>2</sub> Marca Recordum, modelo Airpointer

El método de toma de muestras utilizado fue:

Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación dióxido de nitrógeno NO<sub>2</sub> por quimioluminiscencia: EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice F: NO<sub>2</sub>. Método de referencia automatizado RFNA-1194-099.

La medición de NO<sub>2</sub> se realizó utilizando un equipo analizador por quimioluminiscencia, el cual es capaz de medir los óxidos de nitrógeno a niveles de ppb. La quimioluminiscencia es la energía liberada en forma de radiación electromagnética durante una reacción química. El resultado inicial de la reacción son moléculas eléctricamente excitadas las cuales liberan su exceso de energía emitiendo fotones y decaendo a un nivel de baja energía. La intensidad de la luz producida es directamente proporcional a la concentración de moléculas excitadas. Los procesos involucrados son similares a aquellos de la absorción de la luz y dispersión, pero usando energía química como fuente de excitación, en lugar de una fuente de luz.

El equipo mide la intensidad de luz antes y después de la reacción química, para calcular la concentración de los óxidos de nitrógeno.



**Ilustración 14. Analizador automático de NO<sub>2</sub>**

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Luego de realizar la medición el equipo realiza el cálculo de conversión a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg), para poder realizar la comparación con la normatividad vigente.

### 1.6.4 Analizador de gases para medición de SO<sub>2</sub> Marca Recordum, modelo Airpointer

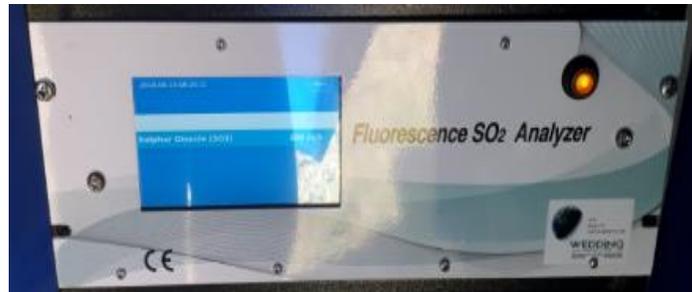
El método de toma de muestras utilizado fue:

Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación dióxido de azufre SO<sub>2</sub> por fluorescencia ultravioleta: EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice A-1: SO<sub>2</sub>. Método equivalente automatizado EQSA-0495-100.

La medición de SO<sub>2</sub> se realizó utilizando un equipo analizador por fluorescencia ultravioleta, el cual es capaz de medir los óxidos de azufre a niveles de ppb. La fluorescencia es un

fenómeno óptico en cuerpos fríos, en el cual las moléculas absorben fotones de altos niveles de energía, excitando un electrón y reemitiendo fotones de baja energía (mayor longitud de onda). De esta forma el electrón no regresa a su estado inicial. La diferencia de energía entre la absorbida y los fotones emitidos termina en una vibración molecular (calor) y el electrón regresa a su estado basal.

El equipo realiza la medición de esta energía mediante la diferencia en luz ultravioleta que se genera.



**Ilustración 15. Analizador automático de SO<sub>2</sub>**

Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Luego de realizar la medición el equipo realiza el cálculo de conversión a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg), para poder realizar la comparación con la normatividad vigente.

### **1.6.5 Analizador de gases para medición de O<sub>3</sub> Marca Recordum, modelo Airpointer.**

El método de toma de muestras utilizado fue:

Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación de ozono O<sub>3</sub> por quimioluminiscencia: EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice D: O<sub>3</sub>. Método equivalente automatizado EQSA-0992-087.

La medición de O<sub>3</sub> se realizó utilizando un equipo analizador por quimioluminiscencia, el cual es capaz de medir el ozono a niveles de ppb. La quimioluminiscencia es la energía liberada en forma de radiación electromagnética durante una reacción química. El resultado inicial de la reacción son moléculas eléctricamente excitadas las cuales liberan su exceso de energía emitiendo fotones y decayendo a un nivel de baja energía. La intensidad de la luz producida es directamente proporcional a la concentración de moléculas excitadas. Los procesos involucrados son similares a aquellos de la absorción de la luz y dispersión, pero usando energía química como fuente de excitación, en lugar de una fuente de luz.

El equipo mide la intensidad de luz antes y después de la reacción química, para calcular la concentración de los óxidos de nitrógeno.



**Ilustración 16. Analizador automático de O3.**  
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Luego de realizar la medición el equipo realiza el cálculo de conversión a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg), para poder realizar la comparación con la normatividad vigente.

#### **1.6.6 Analizador de gases para medición de CO Marca Recordum, modelo Airpointer.**

El método de toma de muestras utilizado fue:

Toma de muestra y análisis de laboratorio para la determinación de monóxido de carbono CO por fotometría infrarroja: EPA e-CFR Título 40, Parte 50, Apéndice C: CO. Método de referencia automatizado RFCA-1093-093.

La medición de CO se realizó utilizando un equipo analizador por fotometría infrarroja, el cual es capaz de medir el monóxido de carbono a niveles de ppb. Los rayos IR son muy débiles para excitar electrones en comparación con los rayos UV. La absorción en el espectro IR, usualmente no causa transiciones de electrones, pero si la inducción de momentums de dipolo. Las moléculas en los gases vibran y rotan. El momentum de dipolo cambia continuamente y una onda electromagnética se desarrolla como en circuito oscilante abierto (una antena)

Las masas de los átomos también tienen que tomarse en cuenta. Para ilustrar esto se puede imaginar la molécula como un compuesto de masas puntuales, las cuales son atraídas unas a otras por resortes. Los átomos más pesados son los que vibran lentamente y de aquí que absorben longitudes de onda largas del espectro de IR. Cualquier radiación remanente se puede medir con un detector. El Espectro proporciona información acerca de la constitución de la molécula.

El equipo mide el espectro IR antes y después del monitoreo, para calcular la concentración del monóxido de carbono.



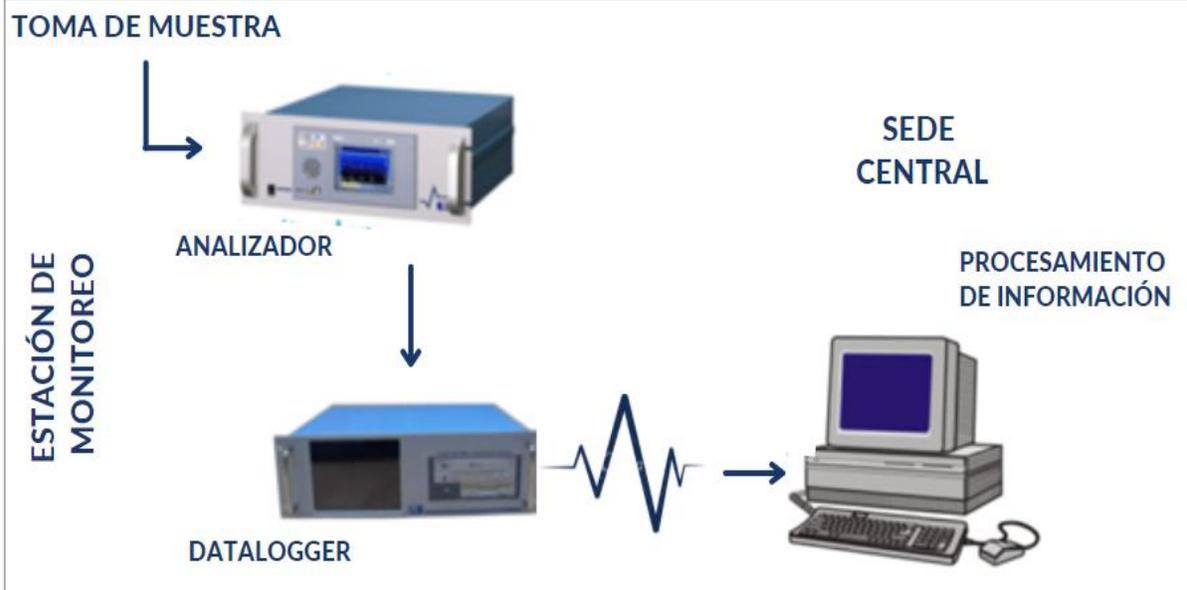
**Ilustración 17. Analizador automático de CO<sub>2</sub>.**  
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

Luego de realizar la medición el equipo realiza el cálculo de conversión a condiciones de referencia (25°C y 760 mmHg), para poder realizar la comparación con la normatividad vigente.

## 1.7 PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

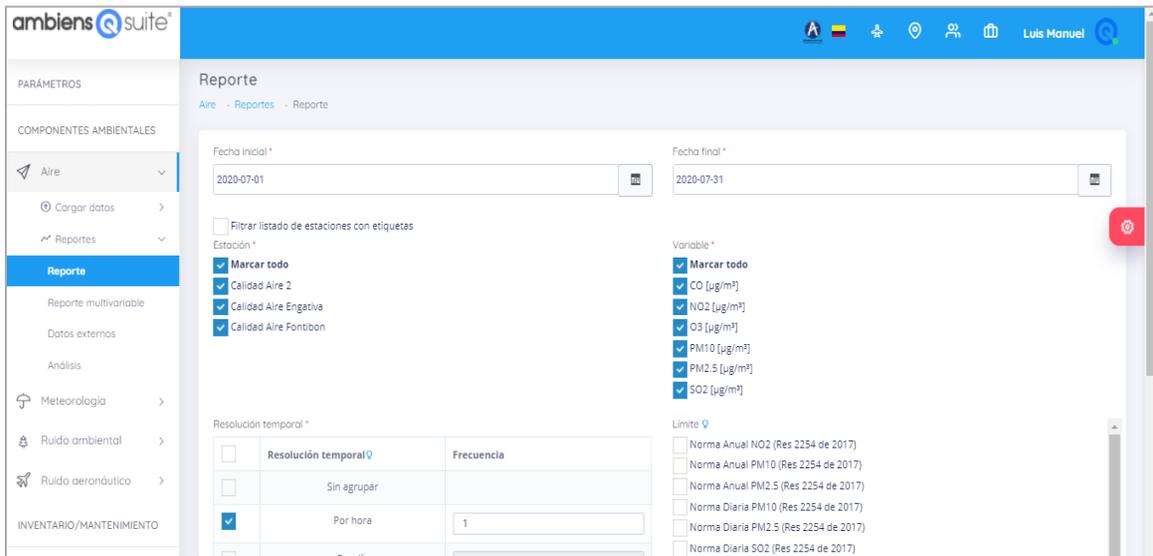
El procesamiento de la información de las estaciones automáticas ubicadas dentro del área de influencia, se realiza a través de un software central (ambiensQ), en el cual se descargan los datos de los equipos y se gestiona la información para que sea analizada con las herramientas propias de dicha aplicación. Observar Ilustración 18.

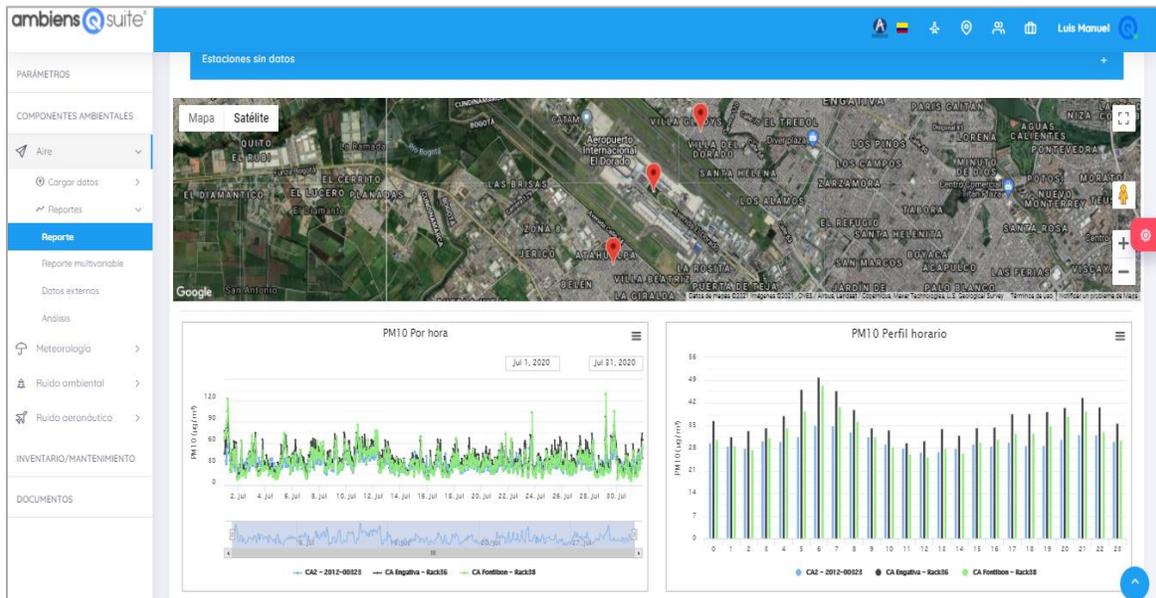
El muestreo y procesamiento de la información de los contaminantes en ambiente se desarrolló de acuerdo con los métodos establecidos en el Protocolo para el Muestreo y Seguimiento de la Calidad del Aire del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – MAVDT.



**Ilustración 18. Proceso de tomas de muestras hasta el procesamiento de la información**  
Fuente: Manual de operación

En la Ilustración 19, se evidencia una captura de manejo de la información en la interfaz, de almacenamiento y consulta de datos.



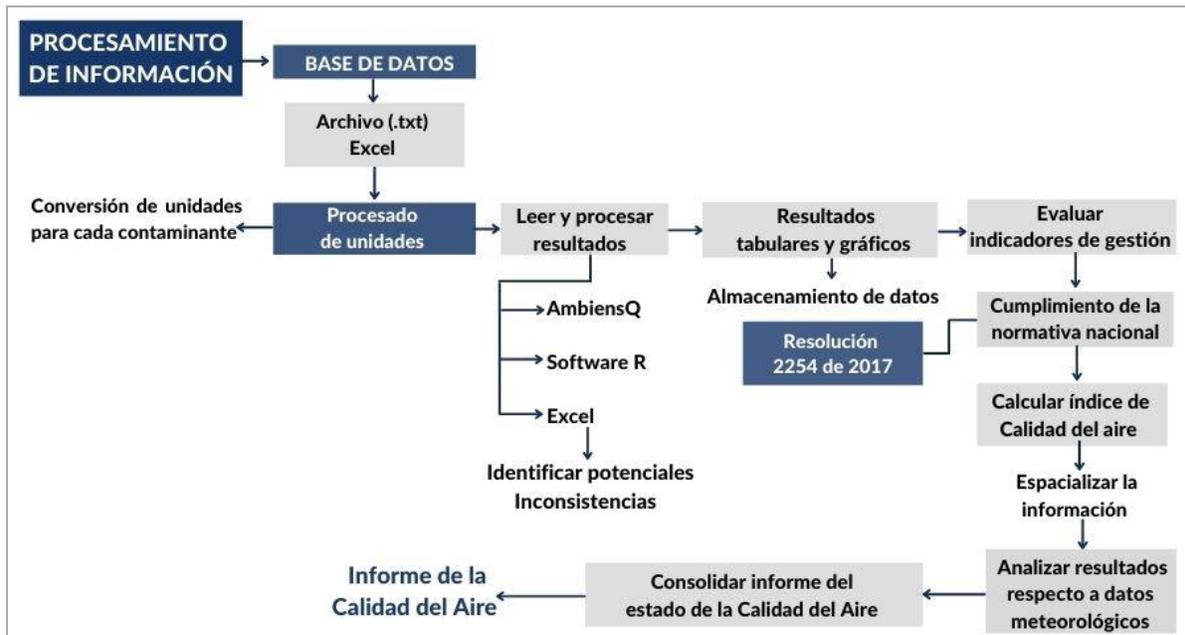


**Ilustración 19. Manejo de la información, ambiensQ**  
Fuente: K2 Ingeniería S.A.S

## 1.8 REPORTE

El reporte de los análisis realizados fue dividido en cuatro corrientes principales: la primera se relaciona con las características asociadas a los respectivos Sistemas de Vigilancia de la Calidad del Aire; la segunda corresponde a la evaluación del cumplimiento de los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 del 2017 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible. la tercera se relaciona con el tema de salud pública y evalúa las tendencias del Índice de Calidad del Aire (ICA).

De acuerdo al procesamiento de información, para el reporte se tuvieron en cuenta las características específicas de la entrega de información, en relación a la presentación y elementos del SVCA, como se observa en la Ilustración 20 Ilustración 20



**Ilustración 20. Procesamiento de la información**

Fuente: Aerocivil

La Plataforma integrada de Gestión Ambiental (AmbiensQsuite), es utilizada para el almacenamiento y procesamiento de la base de datos, esta herramienta nos brinda soluciones de monitoreo, tiempo real de las condiciones de calidad en diferentes parámetros de la calidad del aire.

Una de las herramientas usadas en el procesamiento de la base de datos fue el lenguaje y entorno de programación R, el cual es un software libre diseñado especialmente para análisis gráfico y estadístico (R Core Team, 2016). Los datos a analizar requirieron del desarrollo de códigos en este lenguaje que permitieron automatizar varias rutinas de cálculo que fueron aplicadas a cada monitoreo, el paquete utilizado en el análisis fue OpenAir.

La obtención de la información, tiene como objeto la evaluación del nivel de cumplimiento de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos con respecto a los límites máximos permisibles establecidos en la Resolución 2254 de 2017 en diferentes tiempos de exposición. Los datos horarios obtenidos por los equipos automáticos permitieron realizar la comparación con los tiempos de exposición horarios y diarios.

La evaluación de los efectos de las concentraciones de los contaminantes atmosféricos en la salud de la población fue realizada mediante el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA), que le asigna un color a la calidad del aire el cual depende de su grado de contaminación y presenta los efectos asociados en la salud. El ICA está contemplado para seis contaminantes criterio (O3, PM10, PM2.5, CO, SO2 y NO2) en tiempos de exposición que oscilan entre 1 hora y 24 horas de acuerdo con los lineamientos establecidos en el Protocolo para el Monitoreo y Seguimiento de la Calidad del Aire (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010). Se presenta en una escala que oscila entre 0 y 500

donde los valores más altos representan mayores niveles de contaminación atmosférica y, en consecuencia, más efectos potenciales y adversos a la salud de la población.

Este rango se divide en seis categorías y son indicativas del estado general del aire teniendo en cuenta que el propósito principal del ICA es comunicar de una manera fácil y eficaz a la población sobre los efectos del estado de la calidad del aire en la salud.

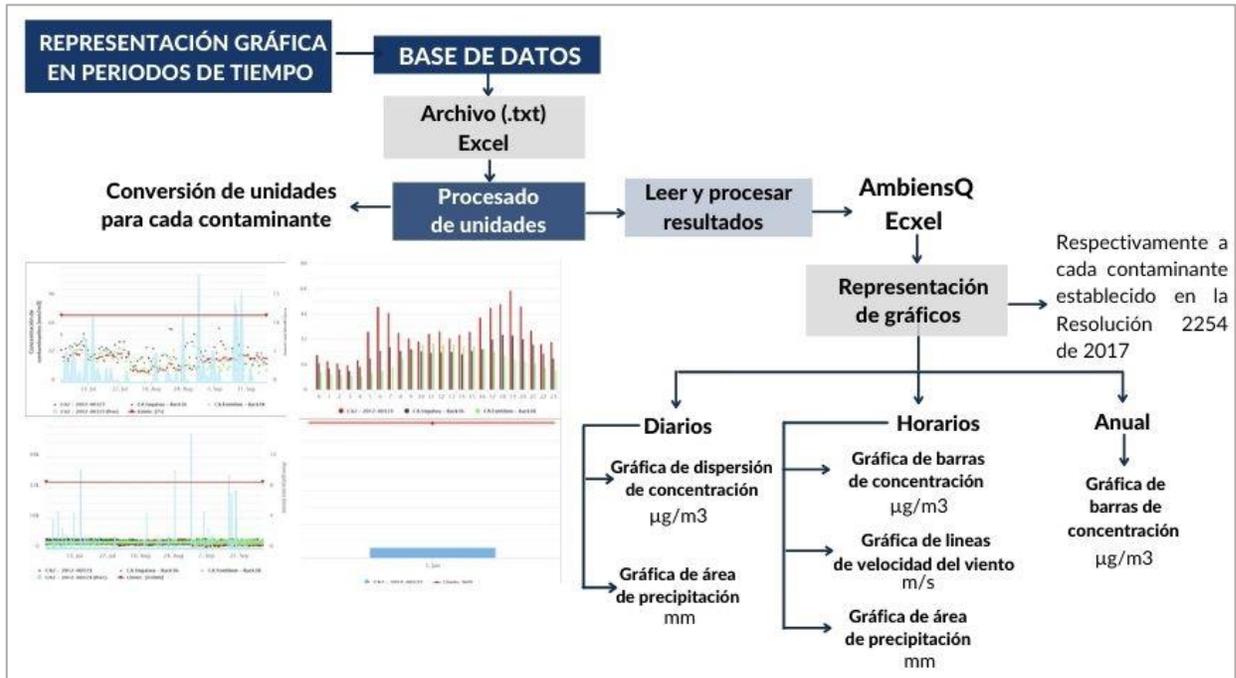
### 1.8.1 Estadísticos realizados y respectivo análisis e interpretación

Para cada contaminante criterio a evaluar se presentan los datos, cálculos y resultados de las estaciones ubicadas dentro del área de influencia, donde se analizan mediante diferentes representaciones graficas que brindan de manera específica los resultados para el respectivo análisis:

- Concentraciones diarias
- Concentraciones anuales
- Perfil horario
- Tabla de frecuencia de estaciones
- Diagrama de cajas
- Rosa de contaminación
- Anillo polar de contaminación
- Calculo del ICA

#### 1.8.1.1 Concentraciones diarias, horarios y anuales

Los promedios diarios, horarios y anuales, permiten visualizar el comportamiento de la concentración por contaminante por un diagrama de dispersión de datos, así mismo comparar con los límites normativos vigentes (Resolución 2254 de 2017) de las tres estaciones ubicadas cerca del área de influencia, estas graficas se comparan con la variable meteorológica de precipitación y velocidades de vientos. (Observar Ilustración 21; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



**Ilustración 21. Diagrama de representación gráfica en diferentes periodos de tiempo**

Fuente: Aerocivil

### 1.8.1.2 Representación gráfica entre cuartiles

La tabla de frecuencia de las estaciones, presentan los resultados establecidos de acuerdo al conjunto de datos tomados para cada estación, donde se reúne, el numero de datos monitoreado en el tiempo establecido, promedio general de los datos, máximos, mínimos, medianas, respectivos percentiles Q25 Q75. (Ver, Ilustración 22).

Esta información es utilizada para ser representada por el diagrama de cajas, cual corresponde a los resultados estadísticos del conjunto de datos tomados por estaciones de monitoreo, donde indica la variabilidad entre cada cuartil, según su mediana y la dispersión de los datos monitoreados. Además, la identificación de valores atípicos, que se representan como puntos individuales, a diferencia del conjunto de datos, sobre o inferior a la mediana.

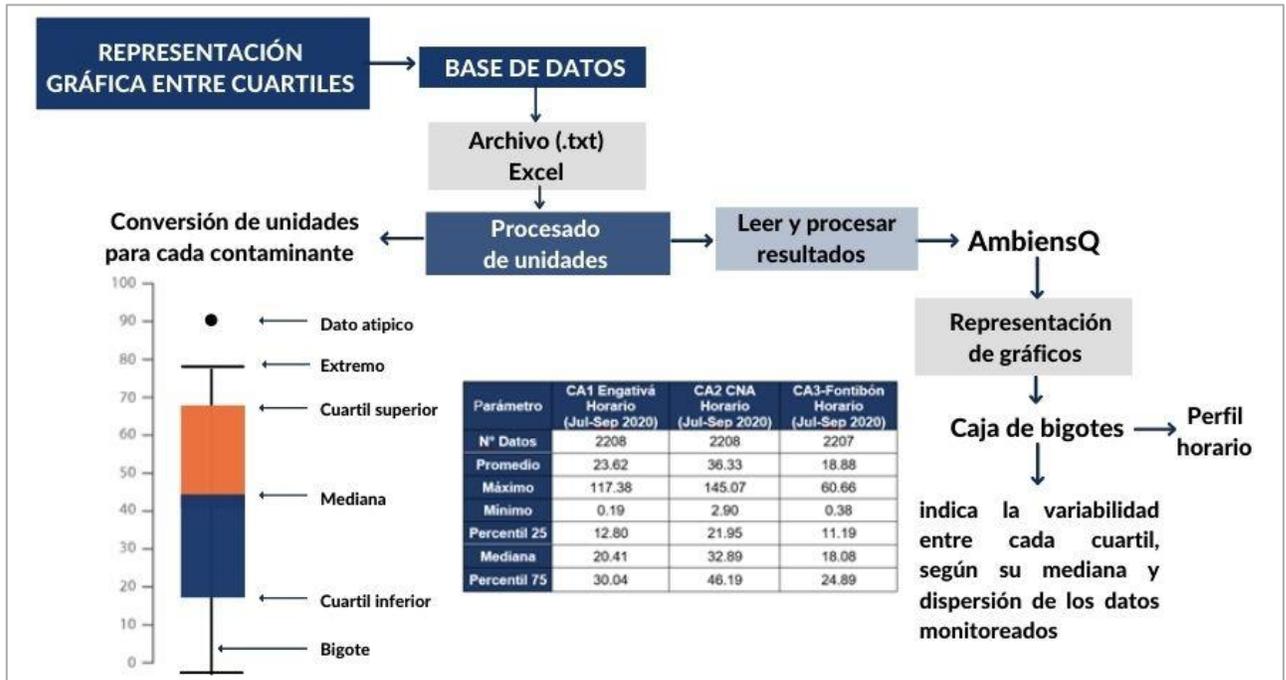


Ilustración 22. Diagrama de representación gráfica entre cuartiles

Fuente: Aerocivil

### 1.8.1.3 Rosa de contaminación y anillo polar

Las gráficas polares, permiten representar por medio de la vinculación de la dirección de viento, las concentraciones y la velocidad u hora de los registros como se observa Ilustración 23, para identificar los focos de emisión que influyen sobre una estación determinada. Tiene tres componentes principales:

- la velocidad
- Dirección
- Niveles de concentración

El anillo polar es una base de datos gráfica, que representa en la dirección de viento las concentraciones alcanzadas en función de las horas del día. De esta forma, se puede ver a qué horas del día se producen las mayores concentraciones y en qué dirección del viento se producen de forma mayoritaria.

El programa utilizado para la representación de estas graficas polares, se realiza mediante el software R (The R Project for Statistical Computing), que permite por medio de programación, cargar puede ejecutar R desde la línea de comandos de cualquier shell que utilice, por ejemplo, un 'Símbolo del sistema' o un puerto de un shell Unix como tcsho bash. (La línea de comando puede ser cualquier cosa que ponga en el campo Destino de un acceso directo, y el directorio de inicio será el directorio de trabajo actual del shell.

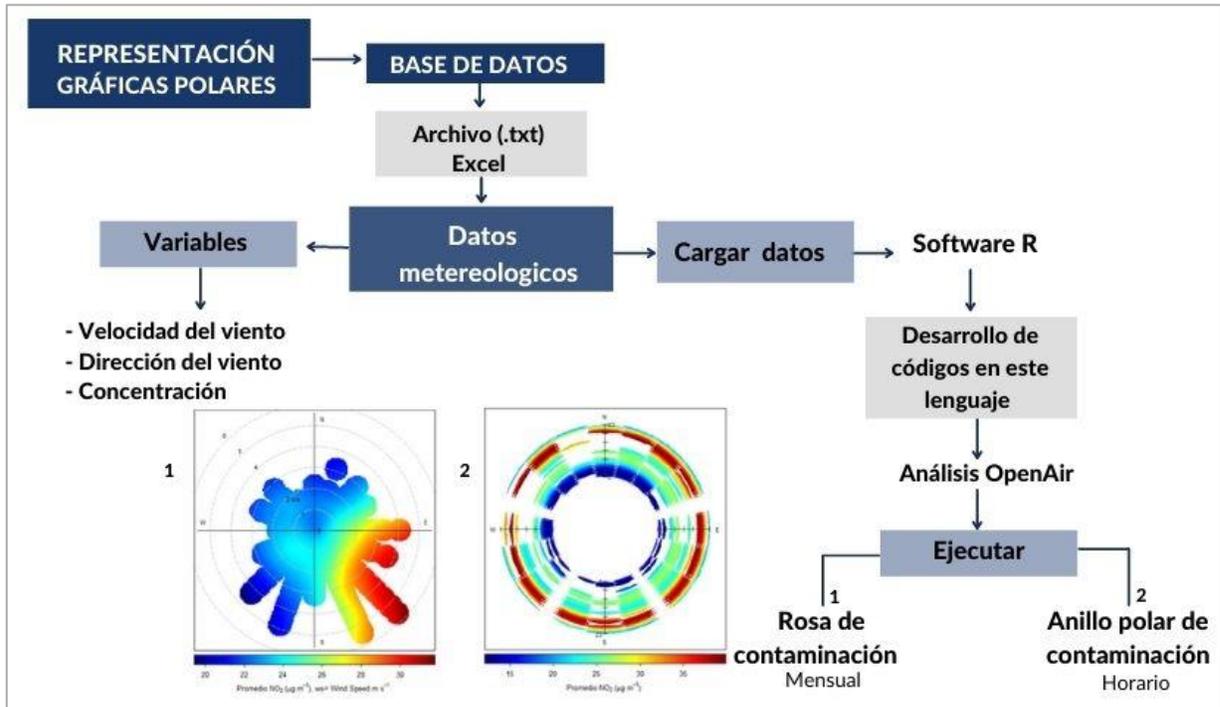


Ilustración 23. Diagrama de representación de gráficas polares

Fuente: Aerocivil

## 1.9 MANTENIMIENTO DE EQUIPOS

La verificación de los equipos se realizó con equipos certificados y trazables bajo la ISO17025, para los equipos de material particulado se utilizó un calibrador para el flujo y para los equipos de gases se utilizó un calibrador para el flujo y un calibrador (dilutor) de gases con cilindros de concentración conocida, para asegurar los resultados del monitoreo de las estaciones de cada uno de los contaminantes. En el Anexo4. Certificados de calibración y Anexo5. Formatos de campo, se encuentran la información pertinente de certificados de los equipos utilizados en el monitoreo de calidad del aire para cada estación.

### 1.9.1.1 Verificación de la calibración de los analizadores de material particulado de calidad del aire

La verificación de los equipos Low-Vol se realizó con un Calibrador 'deltaCal' fabricado por BGI, Inc., para calibrar monitores de PM (con sensor de temperatura y presión). El calibrador muestra flujo actual y flujo a condiciones estándares, brinda información sobre flujo volumétrico, presión barométrica, temperatura de ambiente entre otros.



**Ilustración 24. Equipo de calibración de flujo DeltaCal**

Finalizado el tiempo de muestreo, el filtro se seca a 85°C por una hora en estufa, se lleva a temperatura ambiente en desecador y se pesa nuevamente. La diferencia de peso, es la masa ( $\mu\text{g}$ ) neta, que dividida por el volumen de aire ( $\text{m}^3$ ) muestreado durante las 24 horas, determina la concentración de partículas, expresadas en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para la determinación del material particulado, en el Laboratorio de K2 INGENIERÍA S.A.S. se utilizó una balanza digital OHAUS.

#### **1.9.1.2 Verificación de la calibración de los analizadores de gases de calidad del aire**

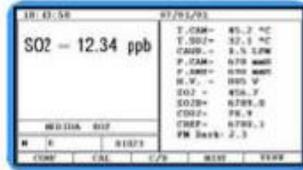
Para verificar el funcionamiento de los analizadores de gases contaminantes, es necesario realizar una calibración multipunto. La Ilustración 25 presenta el equipo empleado para la calibración de los analizadores de  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}/\text{NO}_x$  y  $\text{CO}$ .



**Ilustración 25. Equipo de calibración de gases Airqrate**

**PANTALLA PRINCIPAL** - Display simultáneo de:

- Fecha y Hora
- Concentraciones y Unidades.
- Estado de las válvulas internas.
- Entradas digitales activadas.
- Hasta seis condiciones de alarma.
- Fase actual de medida.
- Activación automática de retroiluminación



**PANTALLA GRÁFICA** -

- Gráficos simultáneos de hasta cuatro parámetros.
- Periodos de Integración 5, 10, 15, 30, 60 min.
- Cursor de Selección de fecha, hora, valor, rangos de medida.

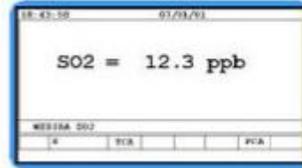
**SENSORES EXTERNOS**

- Se pueden conectar sensores externos.
- El Datalogger y la Memoria son configurables.



**TABLA DE ALARMAS** -

- Generación automática de alarmas de los parámetros seleccionables: fecha, diagnósticos y sensores externos.

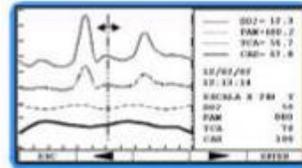


**PANTALLA DE DIAGNÓSTICOS** -

- Potente software de diagnósticos, determinación de posibles averías.
- El parámetro anómalo se muestra con una flecha.
- Control de Calidad continuo.

**MANTENIMIENTO Y CALIBRACIÓN** -

- Autorización mediante clave de acceso.



**HISTÓRICOS**

- Generación automática de tablas para los parámetros seleccionados: datos, diagnósticos y sensores externos.
- Periodos de integración seleccionables: 5, 10, 15, 30, 60 min.
- Cursor para referencia rápida a la fecha.
- Indicación de: - Parámetro, - Fecha, - Valor, - Hora, - Condiciones operativas (flag).



**Ilustración 26. Mntenimiento y control externos**

Fuente: Manual de operación

Entre sus características generales se encuentran:

- Mediciones en tiempo real.
- Proporcionan mediciones de tipo puntual con alta resolución (promedios horarios, o mejores).
- Estas muestras pueden ser analizadas en línea usualmente por métodos opto-electricos
- (Absorción UV, o de IRND, fluorescencia o quimioluminiscencia).
- Capacidad de transmitir datos
- Necesita una logística de mantenimiento.
- Miden tanto gases como partículas
- Deben ser dispuestos en cabinas especialmente diseñadas
- Necesitan gases patrón de calibración

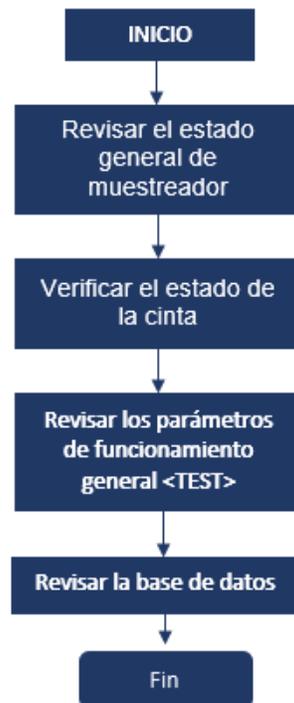
**1.9.2 Revisión de los analizadores de calidad del aire**

La revisión general de los equipos de calidad del aire, se llevó a cabo en cada una de las estaciones de acuerdo al manual de procedimiento del fabricante y a los métodos de referencia acreditados por K2 Ingeniería, realizando diferentes pruebas y actividades de

acuerdo a las características del equipo, de manera general y de acuerdo a lo establecido en el protocolo de operación se gestionan la verificación de acuerdo a cada equipo por contaminante.

### 1.9.2.1 Revisión del analizador de material particulado

Las actividades generales realizada durante el analizador del material particulado en la siguiente Ilustración 27.



**Ilustración 27. Proceso de revisión de un analizador de partículas**

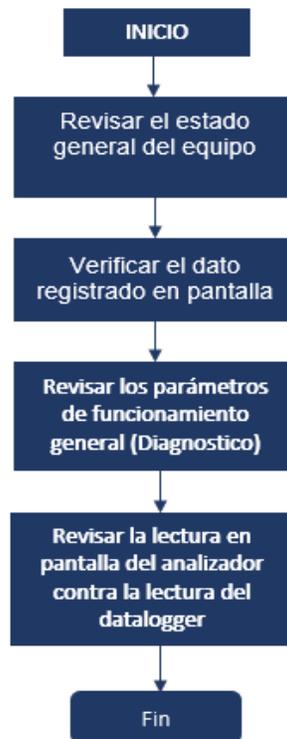
Fuente: Manual de procesos (2010)

Se realiza revisión general del equipo, con cada una de sus partes con el fin de verificar el estado del mismo de acuerdo a las siguientes características:

- Limpieza de cada parte del equipo, el cabezal de toma de muestras, filtro de partículas, sellos de empaque
- Verificar la bomba externa
- Realizar cambio de kit con periodicidad semestral
- Comprobar el estado general de la cita
- Comprobar cada parámetro y lectura
- Verificar la base de datos del analizador

### 1.9.2.2 Revisión del analizador de gases

Las actividades generales realizadas durante el analizador de los gases en la siguiente Ilustración 28.



**Ilustración 28. Proceso de revisión de un analizador de gases**

Fuente: Manual de procesos

Se realiza revisión general del equipo, con cada una de sus partes con el fin de verificar el estado del mismo de acuerdo a las siguientes características:

- Verificar las conexiones eléctricas y neumáticas del equipo
- Verificar el nivel de flujo presente y funcionamiento de la bomba
- Revisar el equipo se encuentre prendido y en modo muestreo que no presente señales
- Verificar el dato del analizador y el dato registrado por el datalogger

## 2 BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (16 de Septiembre de 2019). Resolución N° 01842. Resolución N° 01842.
- IDEAM. (2002). Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo. Bogotá D.C, Colombia.
- IDEAM. (2020). Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológico. Obtenido de <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Mariposas, C. s. (2017). Capitulo 5. Caracterización del área de influencia 5.1.9 Atmósfera. Estudio de Impacto Ambiental - Contrucción del proyecto sendero en los cerros orientales de Bgota. Bogotá, Colombia.
- Autoridad Nacional de Licencias Ambientales. (16 de Septiembre de 2019). Resolución N° 01842. *Resolución N° 01842.*
- Inventario de fuentes fijas industriales dentro de la jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá.
- Resolución 2154 de 2010 por el cual se Ajusta el Protocolo para el monitoreo y seguimiento de la Calidad del Aire.
- Resolución 2254 de 2017, por la cual se expide la norma de Calidad del Aire Ambiente y se dictan otras disposiciones.
- Implementación del software estadístico Openair para el procesamiento y análisis de la información de la base de datos de la red de calidad de aire de Bogotá, Pedro Gracia, Universidad Nacional de Colombia.
- Manual básico para el tratamiento de datos de calidad del aire mediante el lenguaje estadístico R y paquetes adicionales como Openair.
- The Openair manual open-source tools for analysing air pollution data, David Carslaw, King's College London.