

Informe Municipal de Calidad del Aire

Gobierno Autónomo Municipal de El Alto

Gestión 2016

Dirección de Gestión y Control Ambiental

Red de Monitoreo de la Calidad del Aire – El Alto

COORDINACIÓN:

Ing. Ana Cinthia Cachi Renjel

DIRECTORA DE GESTIÓN Y CONTROL AMBIENTAL

Ing. José Luis Pari Mita

RESP. RED DE MONITOREO DE CALIDAD DEL AIRE

Lic. Luis Zalles Velazco

RESP. COMUNICACIÓN AMBIENTAL

Informe Municipal de Calidad del Aire – Ciudad de El Alto

1. Introducción

1.1 El aire

Conjunto de gases que forman la atmósfera, y es indispensable para el desarrollo de la vida en nuestro planeta, ya que es el recurso natural que mayor intercambio tiene con la biosfera, y los seres vivos aerobios somos más dependientes de él (podemos resistir pocos minutos sin respirar). No es un recurso ilimitado, sino un bien limitado que podemos utilizar evitando cambios o alteraciones en su calidad que pongan en peligro el equilibrio biológico del sistema Tierra.

1.1.1 Composición del aire

Tabla 1: Composición natural del aire

Gas	%
Nitrógeno	78.08
Oxígeno	20.95
Argón	0.93
Anhídrido carbónico	0.03
Neón	0.018
Helio	0.005
Criptón	0.001
Hidrogeno	0.00006
Ozono	0.00004
Xenón	0.000008

Definiciones de calidad y contaminación del aire:

i. Calidad del aire

- Concentraciones de contaminantes que permiten caracterizar el aire de una región con respecto a concentraciones de referencia, fijadas con el propósito de preservar la salud y bienestar de las personas¹.

ii. Contaminación atmosférica

- Presencia de sustancia extrañas, energía, o la variación importante en la proporción de sus constituyentes, que puede provocar efectos perjudiciales o crear molestias, en la población, los ecosistemas y los bienes materiales².

1.2 Importancia de medir la calidad del aire

La contaminación del aire es un problema de salud ambiental que afecta a los países desarrollados y en desarrollo de todo el mundo. A escala mundial, cada vez se emiten mayores cantidades de gases y partículas potencialmente nocivos, lo que daña la salud humana, el ambiente y los recursos necesarios para lograr un desarrollo sostenible en el planeta.

En Londres, Inglaterra (1952), experimentaron episodios de contaminación del aire que posteriormente se investigaron con detalle. En el episodio de contaminación del aire que ocurrió entonces, se estimó un aproximado de 4.000 muertes debido a un smog formado principalmente por altas concentraciones de dióxido de azufre (SO₂) y material particulado³. El análisis del episodio mostró que las personas que se encuentran en mayor riesgo son los niños y los ancianos, principalmente aquellos que padecen de trastornos cardiorrespiratorios.

¹ Reglamento a la Ley de Medio ambiente D.S. N° 24176 del 08 de diciembre de 1995 – Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA)

² Consejo Europeo, 1967

³ Organización Mundial de la Salud - Guía de calidad del aire

Un factor que agrava estos eventos de contaminación, es el crecimiento exponencial de la población (En Bolivia, El Alto es la segunda ciudad con mayor población en el país de acuerdo al Censo Nacional de Población y Vivienda 2012 con 848.840 hab.), ello genera la necesidad urgente de mejorar los estándares de vida, lo que a su vez genera una gran presión sobre los recursos, los no renovables como los combustibles fósiles (productos derivados del petróleo).

Ante la existencia de este problema ambiental, la implementación de acciones para reducir las emisiones de diferentes fuentes, se desarrollan herramientas de gestión de la calidad del aire – entre ellas el *monitoreo* –, ya que es imprescindible contar con información de calidad y confiable procurando tener una adecuada cobertura para el diseño de políticas e implementación de proyectos orientados al mejoramiento de la calidad del aire en nuestro territorio.

1.3 Antecedentes de la creación de la Red MoniCA en la ciudad de El Alto

El Gobierno Autónomo Municipal de El Alto a través de la Dirección de Gestión y Control Ambiental es el responsable del control, prevención y evaluación de la Contaminación Atmosférica en la ciudad de El Alto, mediante sus dependencias, entre ellas la **Red de Monitoreo de Calidad del Aire “Red MoniCA El Alto”**.

En 2003, mediante la firma del Convenio Interinstitucional entre el Gobierno Municipal de El Alto y el Proyecto Aire Limpio de la Fundación Swisscontact, se implementa la Red MoniCA en cumplimiento del Título II - Capítulo III - Art. 11 del Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica de la Ley 1333 del Medio Ambiente que atribuye a los GM's a) ejecutar acciones de prevención y control de la contaminación atmosférica..., c) controlar la calidad del aire...

Los parámetros monitoreados por la Red MoniCA son denominados **contaminantes criterio**, llamados así por el efecto tóxico para la salud del ser humano y la biodiversidad, teniendo que su presencia es consecuencia principalmente de las actividades del ser humano, considerándose también a los fenómenos y/o fuentes naturales.

1.4 Objetivos de la Red MoniCA

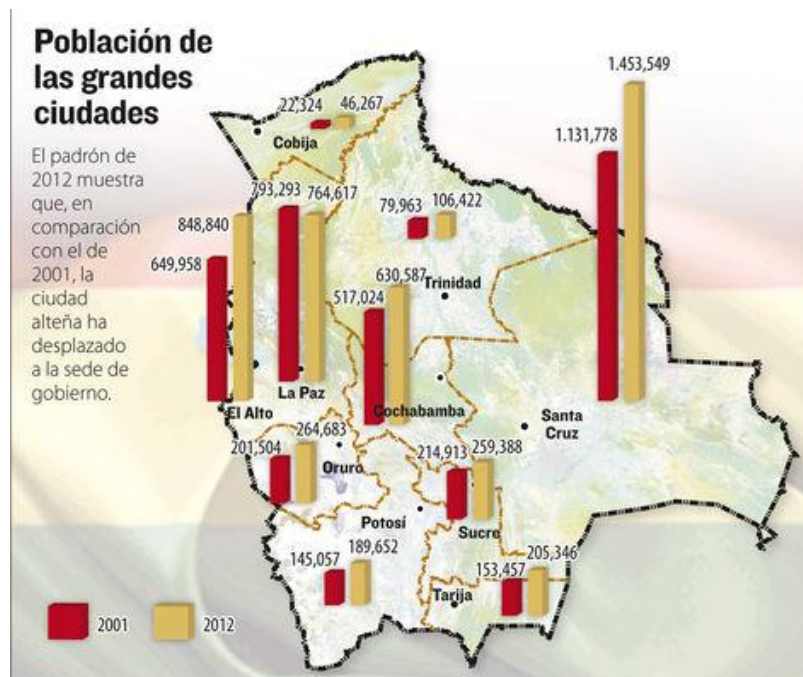
La Red MoniCA se encarga de determinar y comparar las concentraciones de contaminantes atmosféricos medidas en el ambiente con valores establecidos en la normativa ambiental vigente (normas bolivianas de calidad del aire (NB 62011 Calidad del aire - Contaminantes criterio exterior – Límites máximos permisibles, Reglamento en Materia de Contaminación Atmosférica (RMCA) de la ley de Medio Ambiente (Ley 1333), y valores guía sobre calidad del aire emitidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS)).

Entre los objetivos de la Red MoniCA El Alto se tiene:

- Determinar las concentraciones de contaminantes atmosféricos altas y representativas en zonas de alto tráfico vehicular, así como de diferente densidad poblacional.
- Determinar el grado de contaminación atmosférica para compararlo y evaluarlo con la normativa ambiental vigente y valores guía internacionales de referencia.
- Informar a la población sobre la calidad del aire.

1.5 Características de la ciudad que influyen en la contaminación atmosférica

El Alto ha sido la segunda urbe que más habitantes ha ganado en el país en cifras absolutas: de 649.958 censados en 2001 ha pasado a tener 848.840 en 2012, y se ha ubicado por encima de La Paz. La sede de gobierno ha quedado detrás con 764.617 habitantes, 84.223 menos que El Alto. El primer lugar entre las ciudades lo ocupa Santa Cruz de la Sierra con 1.453.549, según datos del Censo de Población 2012.



Fuente: Instituto Nacional de Estadística

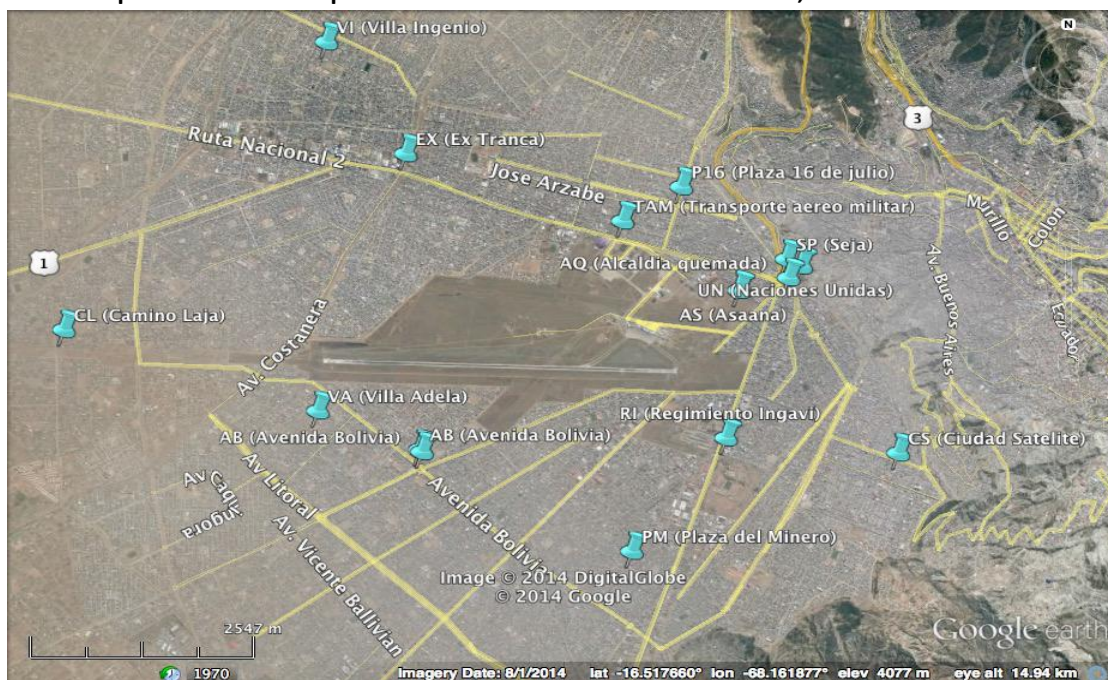
Así mismo, en los últimos años el crecimiento de la población vino acompañado por el crecimiento del parque automotor y actividades económicas, que en consecuencia generan un incremento de las emisiones de contaminantes atmosféricos entre partículas, aerosoles y gases, particularmente en zonas de mayor urbanización.

Tabla 3: Datos generales de la ciudad de El Alto

Población (Censo 2012)	848.840 hab.
Precipitación promedio anual	597 mm
Parque automotor	90.079 vehículos (2012) 95.589 vehículos (2013) 100.112 vehículos (2014)
Humedad relativa promedio	57.08%
Altura	4082 msnm
Presión	0.62 atm
Topografía	Planicie altiplánica
Velocidad promedio del viento	2.30 m/s
Temperatura media	7.7 1 °C
Dirección predominante del viento	Este Oeste

2. Monitoreo de calidad del aire

2.1 Mapa de ubicación de puntos de monitoreo de la calidad del aire, El Alto



2.2 Modificaciones asumidas por la Red MonICA

i) Modificación de punto de monitoreo pasivo

En 2014 con el fin de optimizar recursos y tiempo, se efectuó un análisis de los resultados históricos de los puntos UN y SP (M. Pasivo) evaluando si los mismos son o no comparables (similares) debido a que la distancia entre ambos no supera los 200 metros y teniendo que las características físicas de la zona no varían significativamente. En ese sentido, efectuando un análisis estadístico de homogeneidad, y una interpolación geo-estadística (Kriging); los resultados obtenidos muestran que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre las estaciones a un nivel de confianza del 95%, concluyendo que no es necesario uno de los puntos en el mismo sector por lo que se modificó el punto UN, generando y ampliando el área de cobertura con un nuevo punto de monitoreo, en este caso en la Zona de Ciudad Satélite con código CS, mismo lugar donde se ubican los blancos de campo de las campañas de monitoreo.



Método Pasivo (tubos palmer) en uno de los puntos de la ciudad de El Alto, Ciudad Satélite

ii) Trabajos de mejora de instalaciones

En 2015 se realizaron actividades de refacción y mejora en los ambientes (Ex Hospital 20 de Octubre - Z. Ciudad Satélite) donde se realizan los ensayos para la determinación de contaminantes atmosféricos (NO_2 , O_3 y PM_{10}).

Según la NB/ISO/IEC 17025, “el laboratorio debe asegurarse de que las condiciones ambientales no invaliden ni comprometan la calidad requerida de las mediciones”, por lo que y en atención de las recomendaciones del informe de control de calidad del IIDEPROQ de agosto de 2014, se emplazan mesones fijos y rígidos para la ubicación de las balanzas de trabajo. Siendo que previamente estas se encontraban sobre un mueble móvil de baja estabilidad.

iii. Equipamiento – estación automática

Entre 2014 y 2015, la Red de Monitoreo de la Calidad del Aire se fortalece con la adición de un sistema de medición automático de monóxido de carbono (CO) y ozono troposférico (O_3), mismo que al momento ya fue montado, interconectado, y puesto en operación para la evaluación y análisis de datos para estos contaminantes en una zona de alto tráfico vehicular, además de las actividades aeroportuarias dado que la estación se encuentra en predios del Aeropuerto Internacional de El Alto (AASANA).



Estación automática – AASANA



Método Automático; Datos en tiempo Real

2.3 Resultados

a. Partículas menores a 10 micras, PM_{10}

Las PM_{10} son partículas sólidas o líquidas suspendidas en el aire, de tamaño menor a 10 μm como diámetro aerodinámico. Su composición química incluye carbón elemental, compuestos orgánicos semivolátiles (hidrocarburos livianos), hidrocarburos aromáticos policíclicos, metales pesados, óxidos metálicos, ácidos (nitríco, sulfúrico), sulfatos, nitratos y agua. En otras palabras, estamos hablando de partículas formadas por polvo, cenizas, hollín, cemento, polen, etc.

La diferencia de tamaño de las partículas en la atmosfera oscila entre 0.1 y 10 micras, en relación a lo cual se define el tiempo de permanencia en el aire. De no encontrar obstáculos a su paso y, en función de sus características, estas partículas llegaran hasta la unidad primaria del pulmón o incluso al torrente sanguíneo.

En el proceso de inhalación se introduce aire al organismo, que ingresa junto con cualquier partícula que se encuentre en él. El aire y las partículas viajan por el sistema respiratorio, en el camino, dependiendo de su tamaño, algunas de las partículas se adhieren a las paredes de las vías respiratorias, mientras que otras pueden viajar profundamente hasta llegar al alveolo pulmonar. Cuanto más lejos lleguen las partículas, el efecto en la salud será más severo.

Las partículas más pequeñas ($PM_{2.5}$) pueden llegar sin dificultad a los alveolos pulmonares, mientras que las partículas más grandes tienen más posibilidades de adherirse a las paredes a su paso o pueden quedarse en los pasajes más estrechos de los pulmones.

Células especiales en el pulmón atrapan las partículas, que, al no poder ser expulsadas, ocasionan enfermedades pulmonares, enfisema o cáncer pulmonar.

i. Metodología de Monitoreo de PM_{10}

Para la determinación de PM_{10} se aplica la Norma Boliviana 62014 – Calidad del aire – Determinación de material particulado en suspensión con un diámetro aerodinámico equivalente menor a 10 micrómetros (PM_{10}) – Muestreo activo – Método gravimétrico.

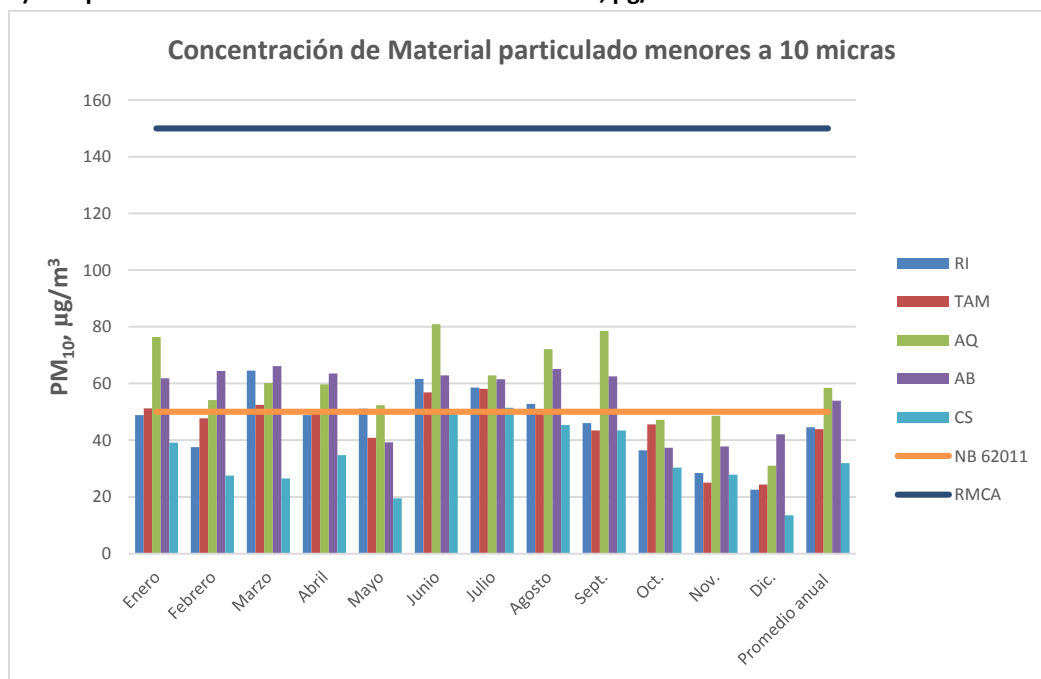
➤ **Muestreo activo**

En el método gravimétrico se muestrea de manera continua, aire ambiente con un flujo definido. El flujo de aire pasa por un elemento selector de partículas con un diámetro de corte 10 μm , que selecciona la fracción torácica de las partículas suspendidas en el aire. Después de la etapa de selección de las partículas, éstas son retenidas en un filtro especial que ha sido previamente ambientado y pesado en condiciones controladas de temperatura y humedad. Luego del periodo de muestreo, se recoge el filtro y se pesa nuevamente luego de un periodo de ambientación en las mismas condiciones de temperatura y humedad. Partiendo de estos valores se puede establecer la masa de las partículas recolectadas, conociendo el tiempo de muestreo y el flujo de captación de aire, se determina el volumen de aire muestreado. Con estos valores se calcula la concentración de partículas de la fracción deseada, en unidades de masa por unidad de volumen de aire ambiente. Los equipos empleados son los denominados de bajo volumen entre ellos, los impactadores Harvard y Tactical Air Sampler.



Método Activo (equipo TAS) en uno de los puntos de la ciudad de El Alto, Radio San Gabriel entre Av. Bolivia y Julio Cesar Valdés

a) Reporte de resultados - Monitoreo activo - PM₁₀, µg/m³

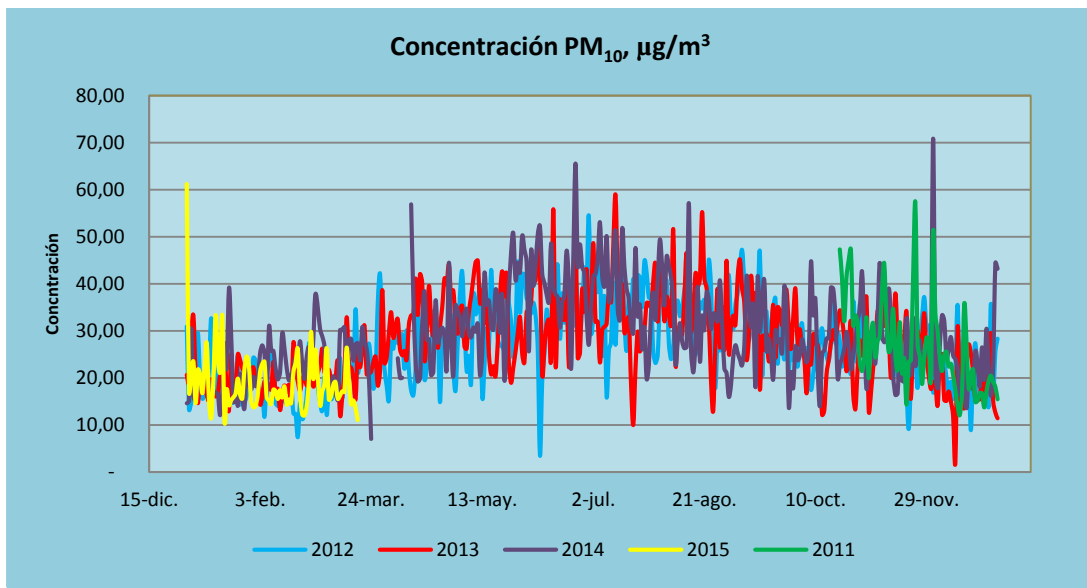


➤ **Método automático**

Para medir la concentración de una determinada fracción de partículas existen además del método activo mencionado, los métodos automáticos que permiten obtener valores de concentración de partículas sobre periodos cortos de medición. Aunque la aplicación de estos métodos es muy exigente en cuanto a capacitación del operador, calibración de los equipos y los costos de inversión y mantenimiento son elevados, la ciudad de El Alto cuenta con un equipo Monitor continuo de partículas ambiental (C14 BETA), siendo que en la gestión 2011 la Fundación Swisscontact mediante el proyecto Aire Limpio realizó la donación del mismo en cumplimiento al Convenio interinstitucional 010/10 del 7 de octubre de 2010 con el Gobierno Autónomo Municipal de El Alto. Al mismo tiempo se consolidó el convenio de cooperación interinstitucional con AASANA (Administración de Aeropuertos y Servicios Auxiliares a la Navegación Aérea) que permitió la instalación del equipo automático (C14 BETA) en la caseta de AASANA ubicada en el Área de transmisores de frecuencia 128 del Aeropuerto Internacional de El Alto.

El equipo C14 BETA tiene la capacidad de efectuar mediciones de material particulado (PM₁₀) en unidades de concentración (µg/m³) en tiempo real almacenando la información con una frecuencia de media hora (30 minutos), información que es descargada de manera mensual en medio magnético para su posterior procesamiento de datos y análisis correspondiente.

b) Reporte de resultados - Monitoreo automático - PM₁₀, µg/m³



b. Dióxido de nitrógeno, NO₂

El óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂) son contaminantes que se producen a través de dos procesos consecutivos. En primer lugar, las altas temperaturas alcanzadas en el proceso de combustión, provoca la combinación directa del oxígeno y el nitrógeno del aire formando óxido nítrico (NO), y luego éste se oxida parcialmente a NO₂. Por tanto, las instalaciones fijas de combustión, los vehículos de gasolina, y los motores diesel emiten óxidos de nitrógeno (NO_x) con proporciones variables de NO₂ y NO. Posteriormente, el NO introducido en la atmósfera urbana por las fuentes emisoras se oxida a NO₂, principalmente por reacciones fotoquímicas.

Desde el punto de vista de protección de la salud, el dióxido de nitrógeno (NO₂) es el único que tiene fijados valores límite para exposiciones de larga y corta duración. Sin embargo, la estrecha relación del monóxido de nitrógeno (NO) con el proceso de formación de NO₂ hace que también tenga su importancia en la evaluación y gestión de la calidad del aire.

Una exposición breve al NO₂ puede provocar irritación del sistema respiratorio y ocular. A largo plazo, los principales efectos pueden generar un desarrollo pulmonar más lento en los niños y la aparición de enfermedades respiratorias crónicas y cerebrovasculares.

Aunque toda la población esté expuesta a los contaminantes atmosféricos, no afectan igual a todo el mundo. Los niños, los ancianos y las personas con problemas de salud (como asma, enfermedades del corazón y pulmonares) pueden sufrir más efectos.

c. Ozono troposférico, O₃

A diferencia de otros contaminantes, el ozono no es emitido directamente al ambiente, es decir, se forma en la atmósfera mediante reacciones fotoquímicas en presencia de luz solar y contaminantes precursores, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y diversos compuestos orgánicos volátiles (COV). Se destruye en reacciones con el NO₂ y se deposita en el suelo.

Las concentraciones hemisféricas de fondo de ozono troposférico presentan variaciones en el tiempo y en el espacio, pero pueden alcanzar niveles medios de alrededor de 80 µg/m³ en ocho horas. Proceden de emisiones tanto antropogénicas como biogénicas (por ejemplo, COV de la vegetación) de precursores del ozono y de la intrusión descendente del ozono estratosférico hacia la troposfera. En efecto, el valor guía propuesto (OMS) se puede superar en ocasiones debido a causas naturales.

El ozono puede irritar los ojos y los conductos pulmonares causando dificultades respiratorias e incrementando la susceptibilidad de las personas a las infecciones pulmonares, más aun si el paciente presenta alguna patología cardíaca o pulmonar de fondo.

Varios grupos de personas son particularmente sensibles al ozono, especialmente cuando realizamos actividades al aire libre, puesto que la actividad física incrementa la frecuencia y el volumen respiratorio. Estos síntomas se han observado para concentraciones de ozono de alrededor de 240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si se supera este nivel, pueden producirse también inflamaciones pulmonares, hiperactividad de las vías respiratorias y un grave deterioro de la función pulmonar (OMS).

i. Metodologías de monitoreo de NO_2 y O_3

Para la determinación de NO_2 y O_3 se aplican las Normas Bolivianas 62012, 62013 y 62017 como se detalla a continuación:

- NB 62012: Calidad del aire – Determinación de dióxido de nitrógeno – Muestreo pasivo – Método espectrofotométrico visible.
- NB 62013: Calidad del aire – Determinación de ozono troposférico – Muestreo pasivo – Método espectrofotométrico visible.
- NB 62012: Calidad del aire – Determinación de ozono troposférico – Muestreo activo – Método fotométrico ultravioleta.

➤ Muestreo pasivo

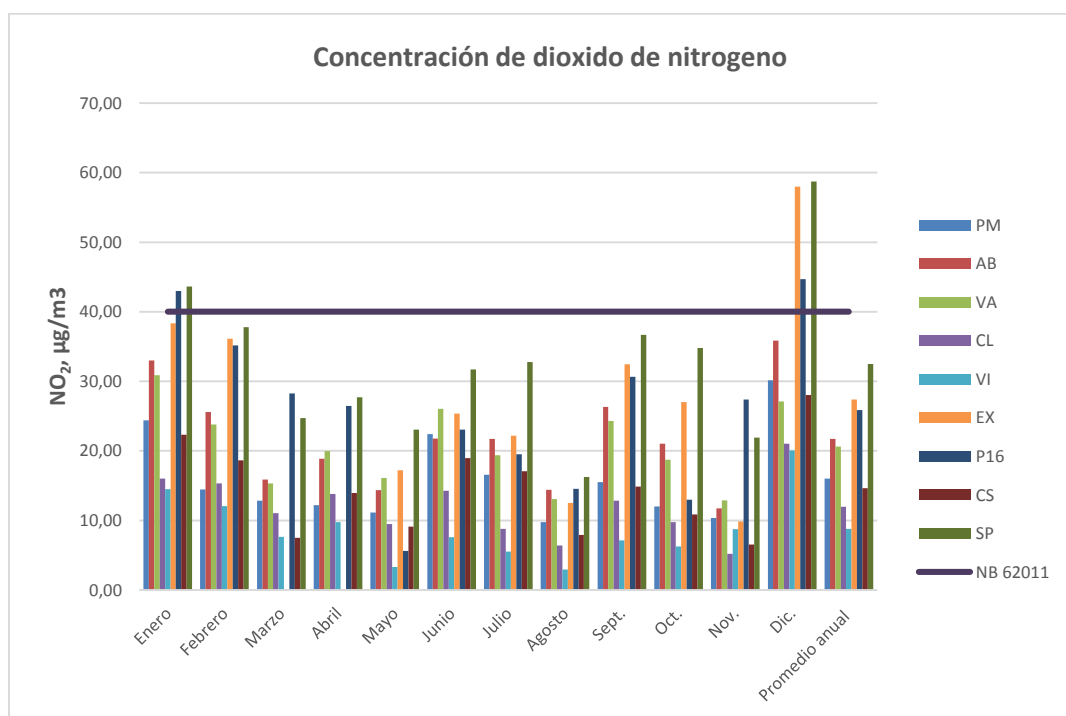
Muchos contaminantes gaseosos pueden ser muestreados de forma pasiva, es decir, mediante el uso de dispositivos de monitoreo, ya sea en medios de colección que pueden ser sólidos, líquidos, cintas químicamente impregnadas o tubos rellenos de algún reactivo entre otros. En cualquiera de estos casos, la muestra de aire entra en contacto con el dispositivo por difusión y el contaminante es atrapado por alguno de los medios de colección mencionados. Una vez colectada la muestra, las técnicas de análisis que se requieren, dependerán del tipo de dispositivo y del químico muestreado como los métodos colorimétricos, cromatografía de gases, espectrofotometría, entre otros.

Un muestreador pasivo es un dispositivo que tiene la capacidad de tomar muestras de gases con un flujo controlado por un proceso físico, como la difusión a través de una capa de aire estático o la penetración a través de una membrana.

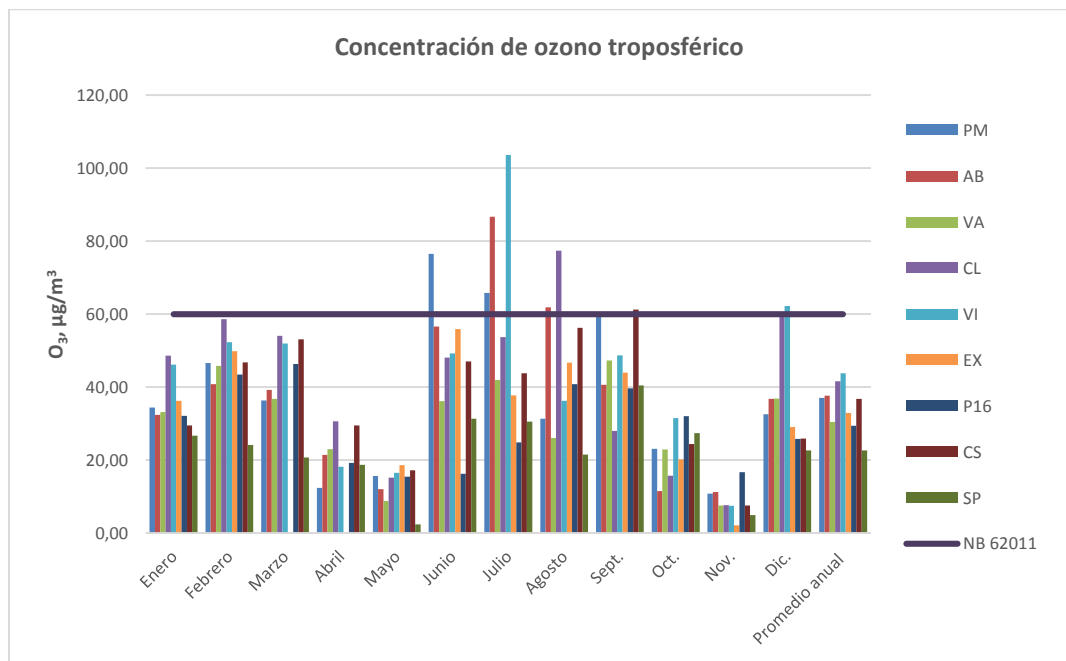
El principio de funcionamiento de los muestreadores pasivos se basa en la difusión de los gases. Las moléculas de gas se dirigen desde una región de alta concentración (extremo abierto) a una región de baja concentración (extremo cerrado con el absorbente). Estos muestreadores son unos tubos cilíndricos inertes que tienen un extremo abierto a la atmósfera y el otro opuesto con un absorbente que retiene al contaminante gaseoso, cuya concentración se desea determinar.

La Red MoniCA Bolivia aplica esta técnica de muestreo sólo para medir ozono y dióxido de nitrógeno.

ii. Resultados Monitoreo pasivo - NO₂, µg/m³



iii. Resultados Monitoreo pasivo - O₃, µg/m³

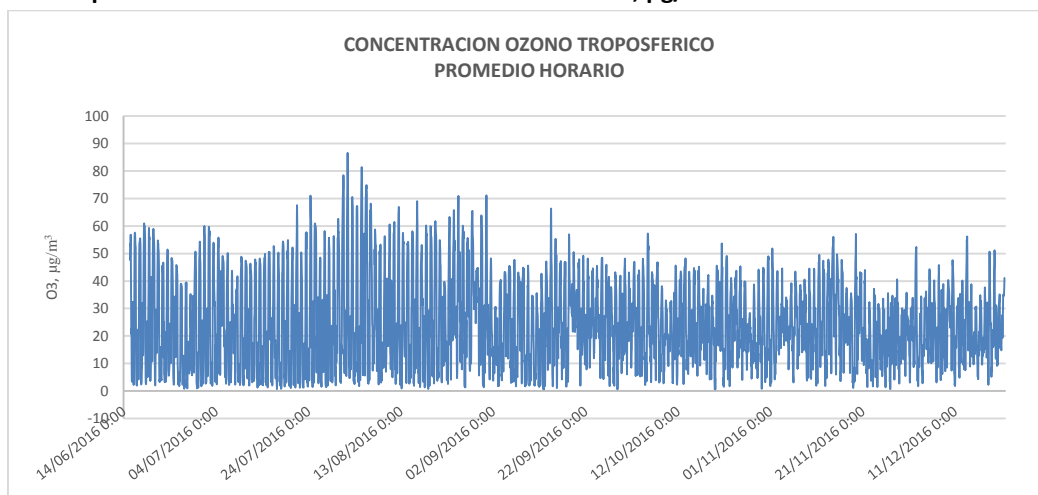


➤ **Método automático principio de operación**

Este analizador basa su principio de funcionamiento en la detección de las moléculas de ozono por la absorción de luz ultra violeta a 254 nm debido a una resonancia electrónica interna de la molécula de O₃.

El aire muestreado entra en una celda de medición donde pasa entre una fuente de radiación UV y un receptor de la misma (fotomultiplicador). El aire entra en la celda por medio de una válvula magnética que alterna entre un flujo directo y un flujo a través de un convertidor catalítico, el cual reduce cuantitativamente el ozono a oxígeno. La intensidad de radiación medida en el aire libre de ozono es almacenada y restada de la intensidad medida en el aire que contiene ozono.

i. Reporte de resultados - Monitoreo automático – O₃, µg/m³



d. Monóxido de Carbono (CO)

El monóxido de carbono es un gas incoloro, prácticamente sin olor, sin sabor y sin capacidad irritante. Se forma a partir del quemado incompleto de combustibles en condiciones de mala aireación, penetra a través de las vías aéreas superiores (nariz) al torrente sanguíneo y a los pulmones para dar lugar a la formación de la carboxihemoglobina, que se forma al desplazar un átomo de hierro, estableciendo una fuerte unión con la hemoglobina (250 veces mayor que la del oxígeno). Este compuesto inhibe el transporte regular de oxígeno a las células del organismo. Los síntomas que produce la inhalación de monóxido de carbono son mareos, cefaleas, náuseas, tinitus y taquicardia. La exposición a altas concentraciones puede tener efectos graves, permanentes y, en algunos casos, desenlaces fatales.

La concentración tolerable de carboxihemoglobina está entre 0,3 y 0,7 % en personas que no fuman. En fumadores su concentración llega a un promedio de 4 %.

i. Metodología de Monitoreo de CO

Para la determinación de CO se aplica la Norma Boliviana 62015 – Calidad del aire – Determinación de monóxido de carbono – Muestreo activo – Método espectrofotométrico no dispersivo en el rango infrarrojo.

➤ **Método automático principio de operación**

El espectrofotómetro mide la absorción de radiación infrarroja (IR) por moléculas de CO a 4.7 micrones utilizando dos rayos IR paralelos que pasan a través de una celda de referencia y una celda de medición. La señal de absorción es proporcional a la concentración de CO.

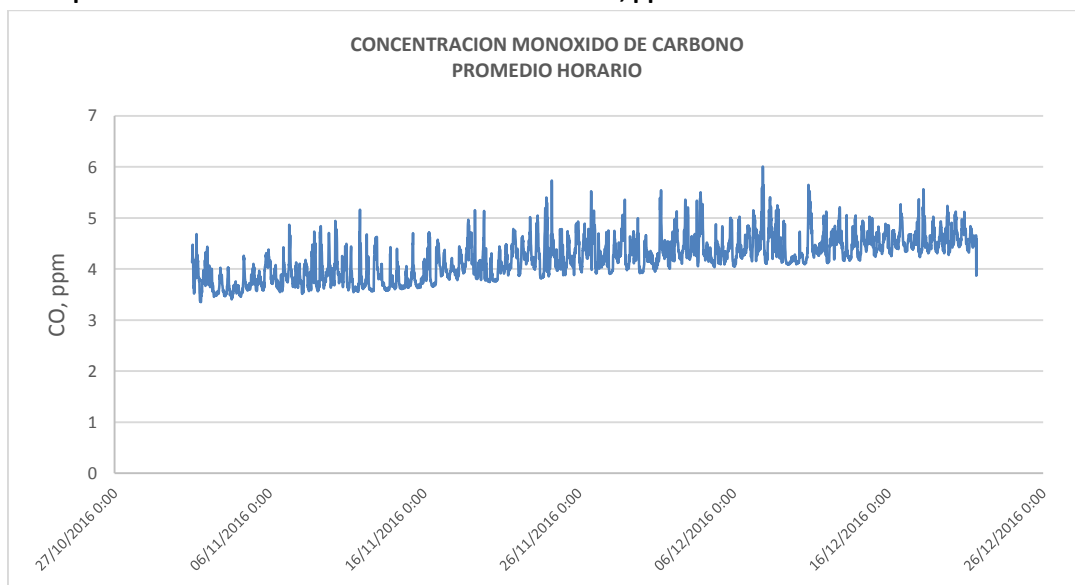
El principio de funcionamiento se basa en la absorción de radiación Infra Roja (IR) por moléculas de CO en longitudes de onda cerca de 4.7 micrones. La absorción infrarroja se

basa en el principio de que todas las moléculas heteroatómicas como CO, CO₂, SO₂ y NO, poseen un espectro de absorción característico en un rango infrarrojo. Este principio se utiliza exclusivamente para la determinación de monóxido de carbono y para bióxido de carbono debido a que la absorción de estos gases es suficientemente grande, a pesar de que se encuentran en muy bajas concentraciones en la atmósfera.

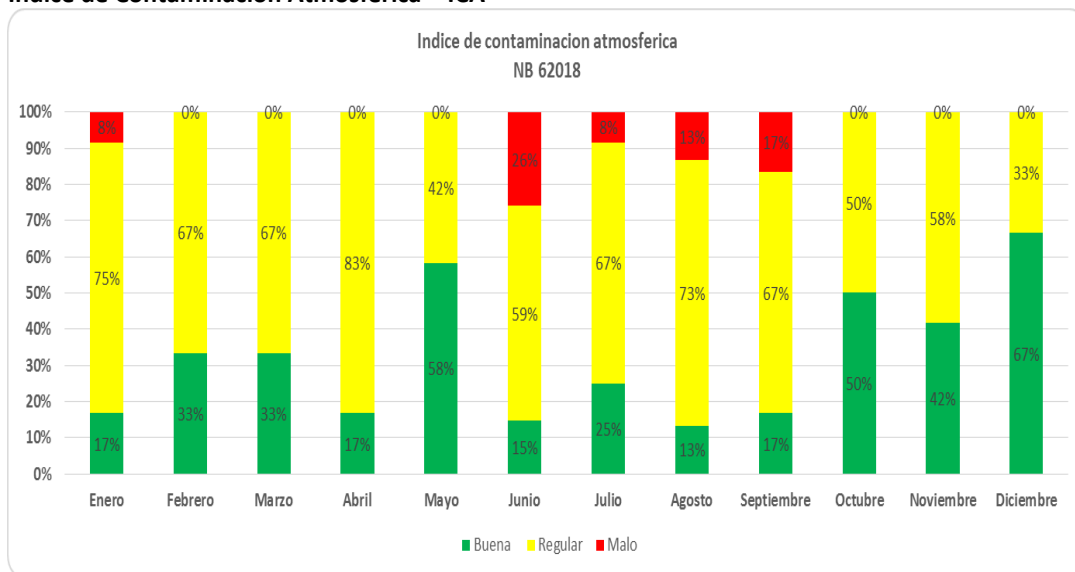
Existen dos diferentes métodos de absorción de IR que se distinguen entre sí por el método de almacenaje de la muestra de referencia, que sirve para obtener la selectividad deseada del espectro de refracción. Estos son el método de absorción infrarroja no dispersa y el método de correlación de un gas filtrado.

El método utilizado en los analizadores automáticos es el de correlación de un gas filtrado. Este método utiliza una cámara de gas ajustada a un filtro y otra llena de N₂, las cuales están montadas en una rueda que las coloca periódica y alternadamente en la trayectoria de la luz.

i. Reporte de resultados - Monitoreo automático – CO, ppm



3. Índice de Contaminación Atmosférica – ICA



4. Análisis de la Continuidad

Para el caso de monitoreo pasivo, los periodos de monitoreo en cuanto al tiempo de exposición fueron de dos (2) semanas, sin embargo, por diversos factores de fuerza mayor (mantenimiento del vehículo, acceso a puntos de monitoreo pasivo, actividades generales de la Instancia Ambiental del Gobierno Municipal), el tiempo de exposición se extendió a tres (3) semanas.

Para el monitoreo activo, por factores de instalaciones (eléctricas) y acceso al punto de monitoreo se presentaron dificultades al momento de exponer muestras para la determinación de material particulado.

En cuanto al monitoreo automático para los parámetros CO y O3, se realizaron las correspondientes calibraciones, verificaciones y ajustes de manera programada, sin embargo, debido a que el sistema de gestión de datos presenta dificultades en su adecuada manipulación, el análisis se realiza de manera específica por periodos de tiempo cortos. Aun es un limitante el acceso remoto del sistema automático.

5. Conclusiones

La información presentada en este documento corresponde a la gestión 2016.

Las características de operación fueron las siguientes:

- 9 puntos de monitoreo pasivo para medición de NO2 y O3.
- 5 puntos de monitoreo activo para medición de PM10.
- 1 estación automática donde se mide CO y O3.

En general, el principal criterio aplicado en la medición de los contaminantes descritos en el informe es el transporte (zonas de alto tráfico vehicular).

Se tiene que para sectores de elevado tráfico vehicular (congestionamiento) los valores de concentración de NO2 es elevado (la Ceja, Av. Juan Pablo II en Ex tranca Rio Seco y Plaza Libertad en la Av. 16 de Julio), sin embargo, realizando la comparación de los resultados con el promedio anual, ninguna de las estaciones supera el valor guía establecido en la NB 62011.

Para el caso de O3, se presenta una correspondencia entre los valores de concentración de NO2 y O3, siendo que donde se tiene una concentración elevada de NO2 la concentración de O3 es baja y viceversa, aspecto esperado teniendo que en zonas alejadas con importante incidencia de radicación solar se tiene elevadas concentraciones de O3, sin embargo, en ninguna de las estaciones de monitoreo se supera el valor límite de la NB 62011 - promedio anual - .

Según los resultados obtenidos de la metodología automática y las limitaciones existentes, se tiene:

- Las concentraciones de monóxido de carbono no superan (no se acercan) el límite máximo permisible establecido en el RMCA, NB 62011 y OMS.
- Las concentraciones de O3 no superan el límite máximo permisible establecido en el RMCA en su promedio horario (el límite es muy flexible).

En ciudades de Bolivia se tiene que el contaminante que presenta mayores problemas ambientales y de salud es el material particulado (PM10), siendo que con el mismo es que se determina el Índice de Contaminación Atmosférica (ICA), y como se observa en la correspondiente gráfica:

- En ninguna de las estaciones de medición se supera el límite máximo permisible cuando se realiza la comparación con el RMCA.

- Cuando se realiza la comparación con los límites de la NB 62011, que coincide con los valores recomendados por la OMS, se evidencia que se superan los límites en varias estaciones, más en las zonas de elevado tráfico y flujo vehicular.
- El ICA según la gráfica muestra un comportamiento regular que es función de las condiciones meteorológicas de la ciudad de El Alto, presentando un deterioro en época de invierno y seca sin lluvias, teniendo un periodo mayor con una mala calidad del aire, aspecto que cambia cuando nos encontramos en temporada de lluvias con bastante humedad.

6. Bibliografía

- ✓ Informe Nacional de la Calidad del Aire. Ministerio de Medio Ambiente y Agua. 2014-2015
- ✓ Normas Bolivianas 62011-62018. Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, (IBNORCA). 2008.
- ✓ <http://www.senamhi.gob.bo/web/public/>
- ✓ <http://snia.mmaya.gob.bo/web/modulos/PNGCA/#>
- ✓ <http://assets.mheducation.es/bcv/guide/capitulo/8448169816.pdf>
- ✓ <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/es/>

Anexos

Límites Máximos Permisibles

Contaminante criterio	Periodo de exposición	Concentración límite RMCA Ley 1333	Concentración límite NB 62011:2008
		µg/m ³	
CO	1 h	40 000	30 000
	8 h	10 000	10 000
O3	1 h	236	---
	8 h	---	100
	1 año	---	60
NO2	1 h	400	200
	24 h	150	150
	1 año	---	40
PM10	24 h	150	50
	1 año	50	20
SO2	24 h	365	20
	1 año	80	---
PST	24 h	260	260
	1 año	75	75
PM2.5	24 h	---	25
	1 año	---	10
Pb	3 meses	1.5	---
	1 año	---	0.5

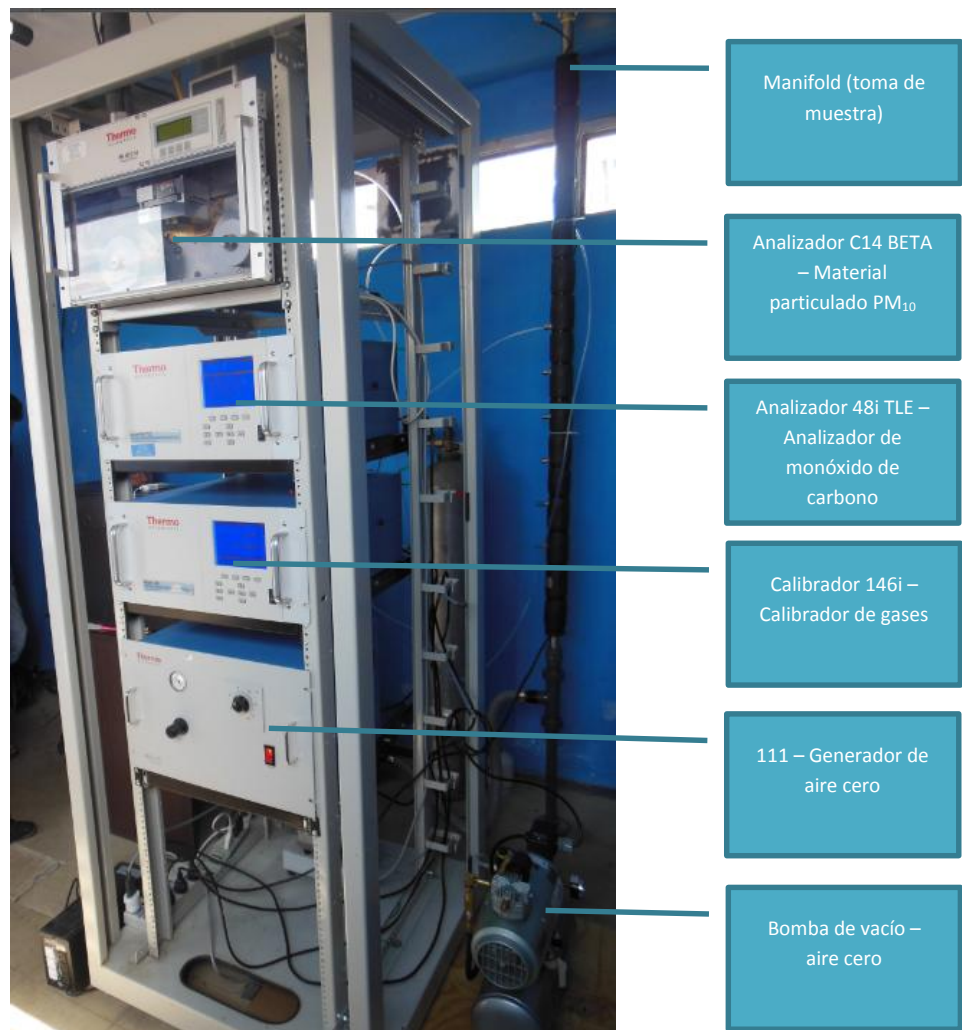
Detalle de ubicación de los puntos de monitoreo de la calidad del aire, El Alto

En la siguiente tabla se presentan de manera resumida la ubicación de los puntos de monitoreo de la red pasiva, activa y automática además de las características más importantes en cuanto a tráfico vehicular, zona industrial y vivienda en general.

No	Estación	Código	Ubicación		Contaminante Monitoreado y tecnología			
			Latitud	Longitud	PM10	PST	NO2	O3
1	Alcaldía Quemada	AQ	-16.505256°	-68.162482°	AC			
2	Transp. Aéreo Militar	TAM	-16.498725°	-68.179943°	AC			
3	Ciudad Satélite	CS	-16.525383°	-68.150886°	AC			
4	Avenida Bolivia	AB	-16.525037°	-68.201384°	AC			
5	Regimiento Ingavi	RI	-16.523657°	-68.169029°	AC			
6	Avenida Bolivia	AB	-16.525304°	-68.201170°			PV	PV
7	Plaza del Minero	PM	-16.536765°	-68.178943°			PV	PV
8	Camino a Laja	CL	-16.511192°	-68.239285°			PV	PV
9	Villa Ingenio	VI	-16.478183°	-68.211112°			PV	PV
10	Ex Tranca Rio Seco	EX	-16.491025°	-68.202849°			PV	PV
11	Ciudad Satélite	CS	-16.525383°	-68.150886°			PV	PV
12	Desvío de la Ceja	SP	-16.503200°	-68.162710°			PV	PV
13	Plaza 16 de Julio	P16	-16.494881°	-68.173822°			PV	PV
14	Villa Adela	VA	-16.520625°	-68.212346°			PV	PV
15	AASANA	AS	-16.506789°	-68.167732°				AT

PV: Pasivo; AC: Activo; AT: Automático

Esquema de estación automática El Alto



Instalación, verificación y puesta en marcha del sistema automático de medición de monóxido de carbono, CO